electronia + radio + tv

Amplificadores B.F.
Altavoces
Válvulas amplificadoras

ediciones AFHA

electronia radio tv

método especialmente ideado para aprender por sí mismo

electronia + radio + tv

Tomo IV

amplificadores B.F. altavoces válvulas amplificadoras

AFHA

el método de

electronia radio tv

comprende los siguientes títulos:

Tomo I **Teoría y montajes iniciales**

Tomo II **Válvulas de vacío. Electrometría teórico-práctica**

Tomo III **Detectores. Osciladores. Amplificadores**

Tomo IV **Amplificadores B.F. Altavoces. Válvulas amplificadoras**

Tomo V **El superheterodino de AM**

Tomo VI **Receptores de frecuencia modulada**

Tomo VII **Transistores**

Tomo VIII **Alta fidelidad**

Tomo IX **Instrumentos de medida**

Tomo X **Televisión (I)**

Tomo XI **Televisión (II)**

Tomo XII **Televisión (III)**

(c) AFHA Internacional, S.A.

c/. Maestro Nicolau, 4 Barcelona (21)
Vigésimoprimera edición: Segundo trimestre 1979
Depósito Legal: B. 5.315-1978 (IV)
ISBN: 84-201-0274-1 Obra completa
ISBN: 84-201-0344-6 Tomo 4
Impreso en España
Printed in Spain
Impreso por EMOGRAPH, S.A.
Almirante Oquendo, 1-9 Barcelona (20)

prólogo

Partiendo del conocimiento de las cualidades del sonido, se estudian las características técnicas y constructivas de los altavoces para ver inmediatamente su aplicación en un sencillo receptor, cuya etapa amplificadora está constituida por un solo triodo que actúa como amplificador de potencia.

Sentados estos puntos de partida, nuestro Tratado aborda con amplitud y detalle el estudio de la distorsión y de sus causas, puesto que sólo si conocemos los inconvenientes que puede presentar un amplificador estaremos en condiciones de comprender la forma de suprimirlos en lo posible.

Ésta es, quizás, la faceta más original de este Tratado sobre la amplificación del sonido que ponemos en sus manos: la deducción de los componentes que deben formar un circuito amplificador de B.F., sus características técnicas y su función en pro de una mayor fidelidad en la reproducción de los sonidos originales, se deducen del conocimiento de las causas capaces de motivar la distorsión del sonido. Conociendo las causas de distorsión, el lector comprenderá perfectamente la utilidad de los componentes que pueden eliminarlas.

Es lógico que el lector, a medida que avanza en el conocimiento teórico de la amplificación, vea también la aplicación práctica de sus conocimientos. Así, el estudio de las válvulas amplificadoras más comunes le pone en condiciones de comprender el circuito y montaje de nuevos receptores, cuya etapa o etapas amplificadoras resultan cada vez más perfectas, tanto por el hecho de proporcionar mayor potencia de salida como por ofrecer la posibilidad de añadir un control de agudos y otro de graves.

La lectura y estudio de este volumen desemboca en el conocimiento técnico y en el montaje de un amplificador de B.F. cuya calidad permite calificarlo como de alta fidelidad (Hi-Fi).

Pero aún hay más. Conscientes de que los temas tratados en este libro tienen gran aplicación práctica, no hemos querido que nuestros amables lectores dejasen de ver de una manera tangible las oportunidades de tipo comercial que puede abrirles el estudio de los amplificadores de B.F.

Por ello dedicamos dos capítulos al estudio descriptivo de la realización comercial del amplificador cuyo esquema se ha analizado teóricamente. Primero podrá ver, lector amigo, el montaje del amplificador en una caja comercial; y luego el montaje de una maleta tocadiscos de buena calidad.

Creemos con sinceridad que nuestro libro es un acierto. Para el aficionado representará su capacitación a nivel técnico en algo tan fundamental como es la amplificación del sonido. Para el profesional, será una obra de consulta y, sin duda, una reafirmación de sus conocimientos y el descubrimiento de detalles que quizás habían pasado inadvertidos en su formación primera.

índice

Lección 19 - página 1

RADIOTECNIA. — *Amplificadores de sonido.* Cualidades del sonido. Características de un amplificador de sonido. Altavoces. Altavoces de hierro móvil. Altavoces de bobina móvil. Altavoces autodinámicos y electrodinámicos. El tamaño de los altavoces. Forma de alimentar la bobina de excitación. La impedancia de los altavoces. Acoplamiento del altavoz a la válvula de salida. Recta estática de carga y recta dinámica de carga. Cómo se traza la recta dinámica de carga. Esquema final. Un caso práctico.

Lección 20 - página 27

RADIOTECNIA. — *La distorsión.* La distorsión en los amplificadores de intensidad. La distorsión de un amplificador de intensidad con triodo ideal. Máxima señal de salida sin distorsión. La distorsión en los amplificadores de intensidad con un triodo real. Cómo obtener mayores señales de salida sin aumentar la distorsión. La distorsión en los amplificadores de tensión y de potencia. Potencia de disipación de placa de una válvula. Curva de máxima disipación. Cómo trazar la curva de máxima disipación. Dando soluciones. Triodos de potencia. En los amplificadores de potencia no siempre se cumple que $R_c = R_p$. Un caso práctico.

Lección 21 - página 49

RADIOTECNIA. — *Tetrodos y pentodos.* El tetrodo. Funcionamiento del tetrodo. Cómo funciona realmente el tetrodo. El tetrodo como amplificador. Parámetros. La emisión secundaria. La emisión secundaria en los triodos. La emisión secundaria en el tetrodo. El pentodo. Estudio gráfico de dos pentodos reales. Tetrodos de haces dirigidos.

Lección 22 - página 75

RADIOTECNIA. — *Las válvulas amplificadoras más características. Proyecto de un amplificador.* Introducción. El pentodo EL84 como amplificador de potencia. Potencia de disipación y potencia obtenible. Impedancia de carga. Elección del punto de trabajo. Máxima potencia obtenible. Sensibilidad de potencia. Polarización por cátodo. Valores adecuados de R_g y de C_g. Esquema final. Algunas consideraciones. Cuadro comparativo entre un paso de salida con triodo de potencia (2A3) y otro paso de salida por pentodo (EL84). Amplificador de sonido con dos etapas. Estudio teórico. Amplificador de tensión con el pentodo EF86.

Lección 23 - página 95

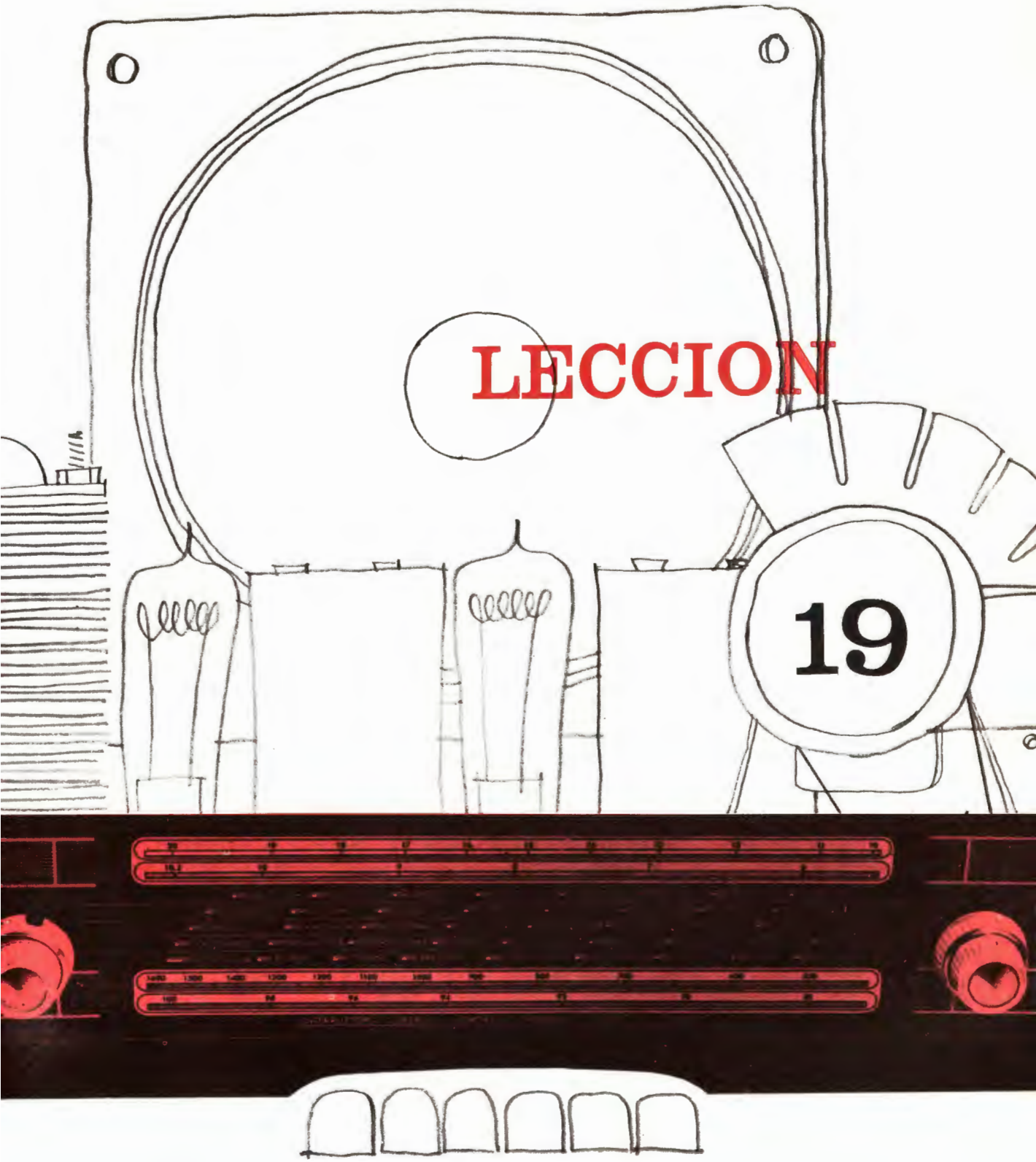
RADIOTECNIA. — *La distorsión de amplitud y la distorsión de frecuencia.* Punto de partida. Distorsión de amplitud. Distorsión de frecuencia. Distorsiones de amplitud y de frecuencia causadas por el transformador de salida. Los transformadores y la distorsión de frecuencia. Distorsión de frecuencia originada por la capacidad de acoplamiento. Distorsión producida por los condensadores de desacoplo. Distorsión de frecuencia originada por las capacidades parásitas de las válvulas. Curva de respuesta de un amplificador. Frecuencias de corte. El teorema de Fourier. Cómo se mide la distorsión.

Lección 24 - página 119

RADIOTECNIA. — *Grabación y reproducción de discos.* Introducción. Grabación y reproducción de discos. Cápsulas de cristal. Piezoelectricidad. Un amplificador para tocadiscos. Controles de tono. El control de agudos. Control de graves. Un detalle final. El potenciómetro de volumen. Mejoras en el filtrado de la corriente rectificada. Consideraciones finales.

Lección 25 - página 143

RADIOTECNIA. — *Distintos montajes de un triodo como amplificador.* Montaje de un triodo con cátodo común. Montaje con rejilla común. Montaje con placa común. Un detalle curioso en el triodo con placa común. Cathode Follower. Aplicaciones del seguidor electrónico. Cuadro resumen. Amplificador de dos pasos acoplados por cátodo. Amplificadores de varias etapas para corriente continua. Amplificadores en contrafase. La potencia de salida en el amplificador push-pull. Inversores de fase. Amplificadores clase A, A-B, B y C.



Amplificadores de sonido

Altavoces. Tipos

El primer receptor con altavoz

AMPLIFICADORES DE SONIDO

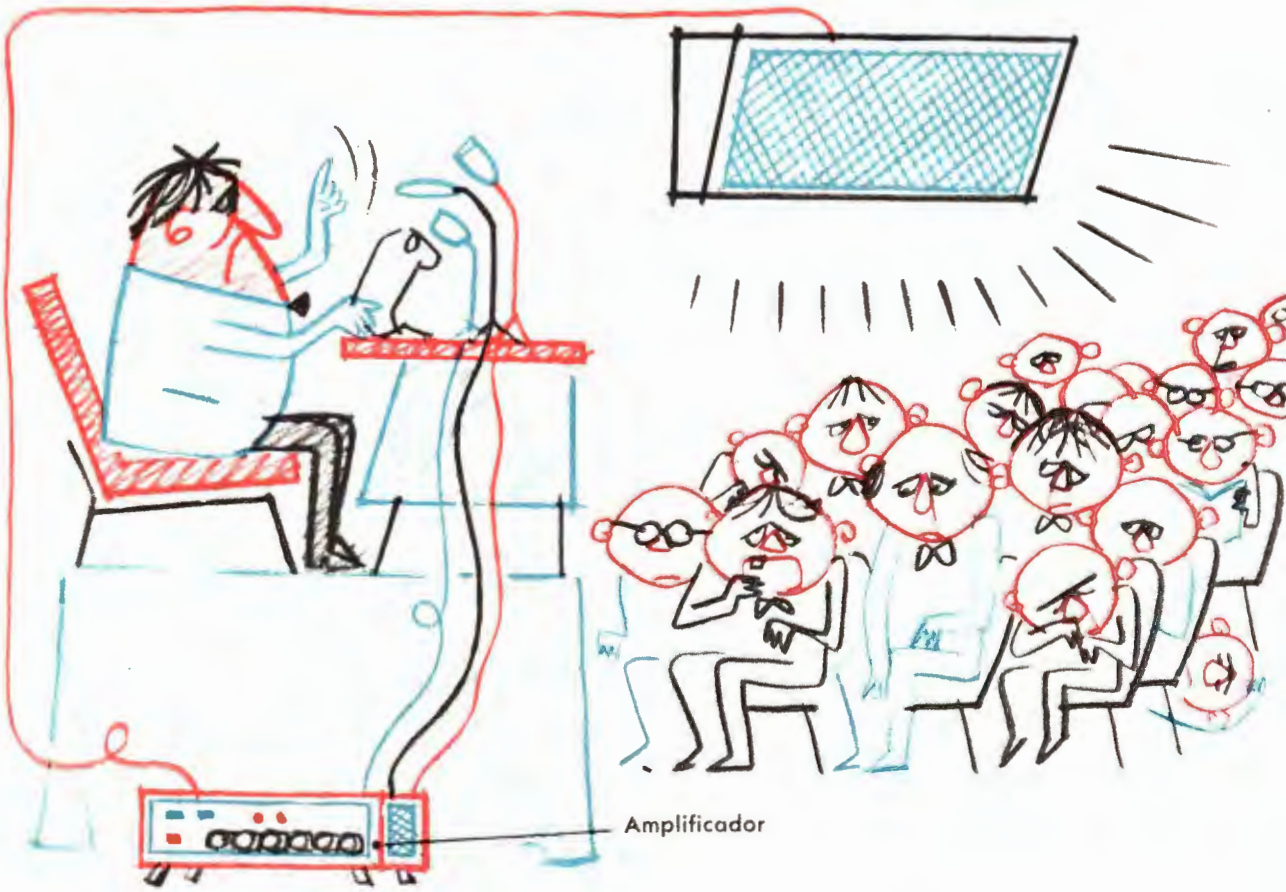
Una vez sentadas las bases teóricas que nos explican el funcionamiento de los amplificadores con válvulas termoiónicas, hemos alcanzado la preparación suficiente para poder pensar en la aplicación de estos fenómenos de la amplificación, dirigidos al diseño y montaje de realidades concretas.

En principio, ¿qué aplicaciones deben interesarnos de las muchas que se desprenden de las propiedades amplificadoras del triodo termoiónico?

En primer lugar nos interesan, como tema de estudio, los llamados amplificadores de sonido, gracias a los cuales podemos hablar de la reproducción del sonido. No cabe la menor duda de que una de las aplicaciones más atractivas de los amplificadores es la que se refiere a la grabación, reproducción y amplificación del sonido. Técnica atractiva, no sólo por lo que en ella se encuentra de interés científico, sino también por su indudable influencia en la vida moderna. Basta con hacer un breve resumen de los aparatos de uso frecuente en que intervienen las tres facetas de la grabación, amplificación y reproducción del sonido, para darse cuenta de la importancia, creciente cada día, que han adquirido estas técnicas.

Los fonógrafos y magnetófonos, por ejemplo, son aparatos reproductores del sonido (grabado previamente en un disco de material plástico o en una cinta magnética) de uso constante, y que por fabricarse en una amplia gama de modelos y calidades son productos que pueden considerarse de auténtico dominio público. Y nos interesa considerar que una parte principalísima de estos aparatos es su circuito amplificador, de cuya calidad depende en un alto porcentaje la fidelidad con que el fonógrafo o magnetófono reproduzcan el sonido.

Resulta curioso establecer una comparación entre casos anecdóticos similares, situados en distintas épocas históricas. Así, por ejemplo, cuando se leen los episodios de la Historia que relatan que un caudillo arengó a sus ejércitos para el combate, no podemos por menos que pensar en el vozarrón que necesitaría para hacerse oír de una soldadesca más dada al ruido que a los silencios expectantes.



En cambio, en nuestros días, nadie piensa en el mayor o menor volumen de voz que debía de tener aquel orador que (según hemos leído en la prensa) se ha dirigido a un auditorio de cientos o miles de personas. No se piensa en ello porque todo el mundo sobrentiende que dicho orador hablaba ante un micrófono y que, gracias a un equipo amplificador, la voz del conferenciante se reproducía en varios altavoces con mucho mayor volumen sonoro.

Puede afirmarse que en la actualidad no se inaugura ningún local de espectáculos, sala de conferencias, o local público en general, sin que en él se haya instalado un equipo megafónico.

Citemos aún la gran utilidad de los aparatos interfonos, que permiten la comunicación entre las distintas personas que ocupan distintas dependencias de un mismo local, y tendremos una visión bastante general del campo de aplicación de los circuitos amplificadores, parte básica en todos los dispositivos que hemos citado y que, por abuso de lenguaje, reciben el nombre de AMPLIFICADORES DE SONIDO.

Esta denominación, en rigor, es impropia, ya que el amplificador no aumenta la potencia del sonido mismo, sino la potencia de las corrientes eléctricas en que previamente han sido convertidos los sonidos.

Estamos ante uno de los procesos electrónicos de inmediata aplicación en la técnica del sonido.

Un emisor de sonido (hombre, instrumento) produce las vibraciones propias de una emisión sonora. Estas vibraciones actúan sobre un micrófono, donde se transforman en corrientes eléctricas que alcanzan un circuito amplificador de potencia, a cuya salida aparecen las mismas corrientes que han entrado, pero con mayor potencia, capaces de accionar un altavoz o juego de altavoces.

CUALIDADES DEL SONIDO

Puesto que el objeto de estas lecciones es el estudio de las aplicaciones de la electrónica en la técnica del sonido, es del todo imprescindible que nuestros primeros esfuerzos se dirijan hacia el conocimiento de la naturaleza del sonido y de las cualidades que podemos distinguir en este fenómeno físico.

ENTENDEMOS POR SONIDO TODO MOVIMIENTO ONDULATORIO QUE, PROPAGÁNGOSE A TRAVÉS DEL AIRE O DE OTRO MEDIO ELÁSTICO, ES CAPAZ DE IMPRESIONAR EL OÍDO PRODUCIENDO UNA SENSACIÓN SONORA.

Apuntamos esta definición, pero nos abstenemos de añadir ningún comentario por entender que fueron suficientes los que se hicieron en nuestras lecciones preliminares cuando se habló de ondas y de movimientos ondulatorios. En cambio, hemos reservado hasta aquí el tema que se refiere a las cualidades del sonido.

En el sonido distinguimos tres cualidades: INTENSIDAD, TONO y TIMBRE.

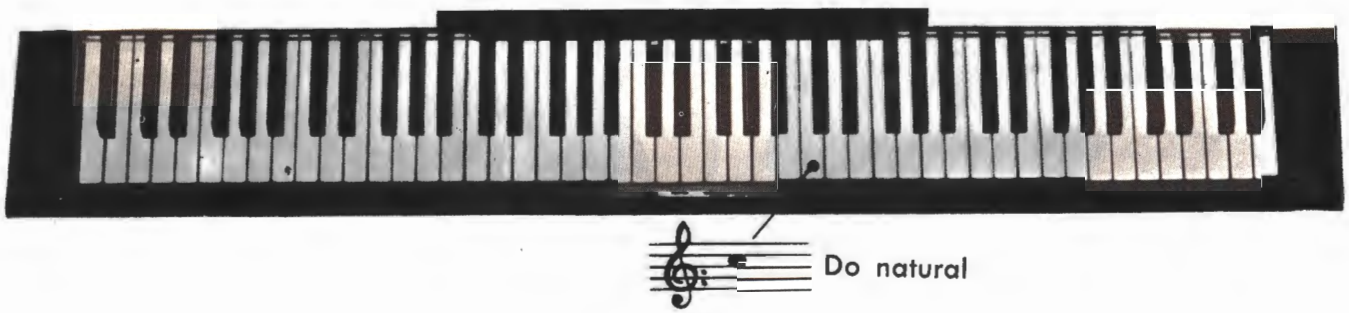
Para comprender el significado de cada una de estas cualidades, nada mejor que trabajar de una forma experimental, cuando se dispone de los elementos necesarios, que en este caso son un osciloscopio, un micrófono y algunos instrumentos musicales: un piano, una flauta, una guitarra...

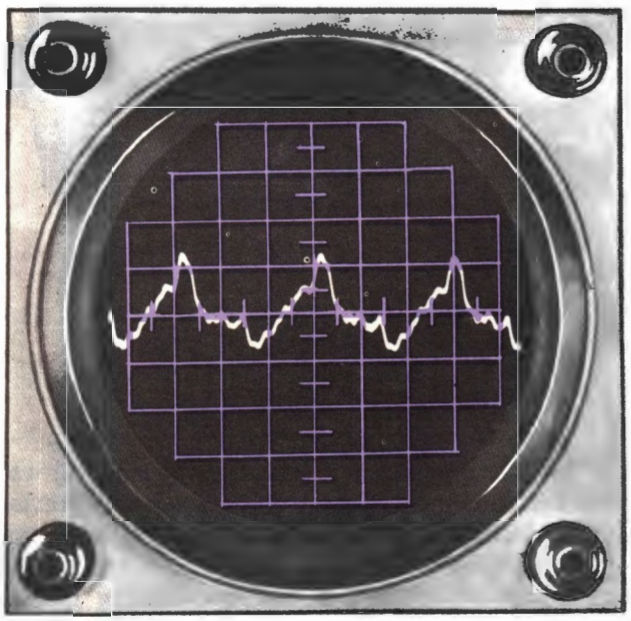
Si hacemos que los sonidos emitidos por estos instrumentos lleguen al osciloscopio, previamente convertidos por el micrófono en impulsos eléctricos, en su pantalla aparecerá la gráfica correspondiente al sonido emitido. Aunque no hemos estudiado el osciloscopio, de él sabemos que dibuja en una pantalla la forma de las tensiones que se le aplican.

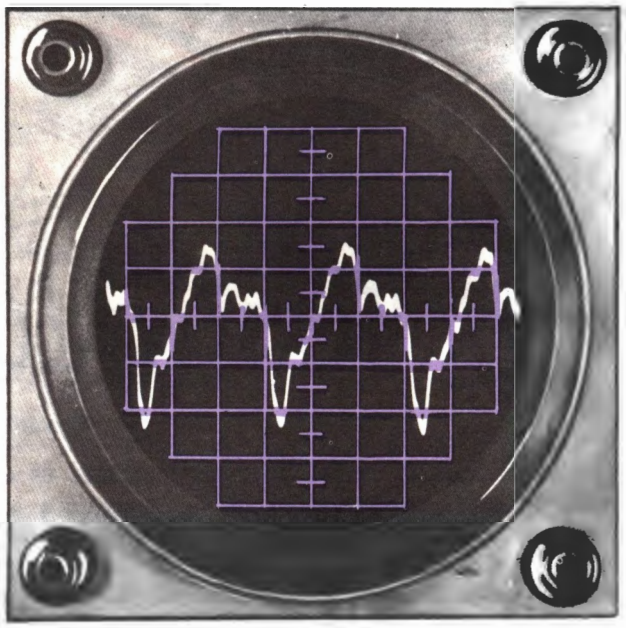
En estas condiciones, si pulsamos dos veces la misma tecla del piano, con mayor fuerza en la segunda, los sonidos que percibimos sólo se diferencian en una cosa: el segundo será más fuerte o más intenso que el primero.

Si comparamos las imágenes que ambos sonidos (producidos por la misma tecla del piano pulsada con distinta energía) han producido en la pantalla del osciloscopio, observaremos que en ambas pulsaciones se han producido ondas del mismo perfil y de la misma frecuencia, pero de DISTINTA AMPLITUD. Al sonido producido por la pulsación más enérgica le corresponde una onda de mayor amplitud.

Podemos afirmar, pues, que LA INTENSIDAD DE UN SONIDO DEPENDE ESENCIALMENTE DE LA MAYOR O MENOR ENERGÍA PUESTA EN JUEGO PARA PRODUCIRLO, LO QUE HACE QUE EL MOVIMIENTO ONDULATORIO OCASIONADO TENGA MÁS O MENOS AMPLITUD.







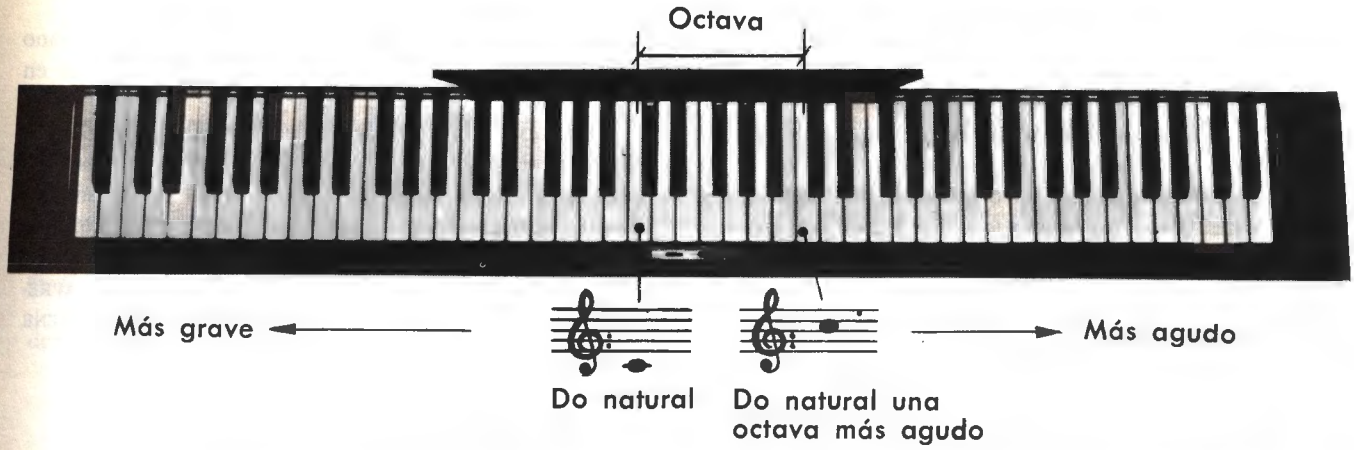
En la pantalla del osciloscopio aparecen los gráficos de las ondas sonoras de igual tono y timbre, pero de distinta amplitud. Esas ondas son el resultado de haber pulsado con distinta energía la misma tecla de un instrumento musical.

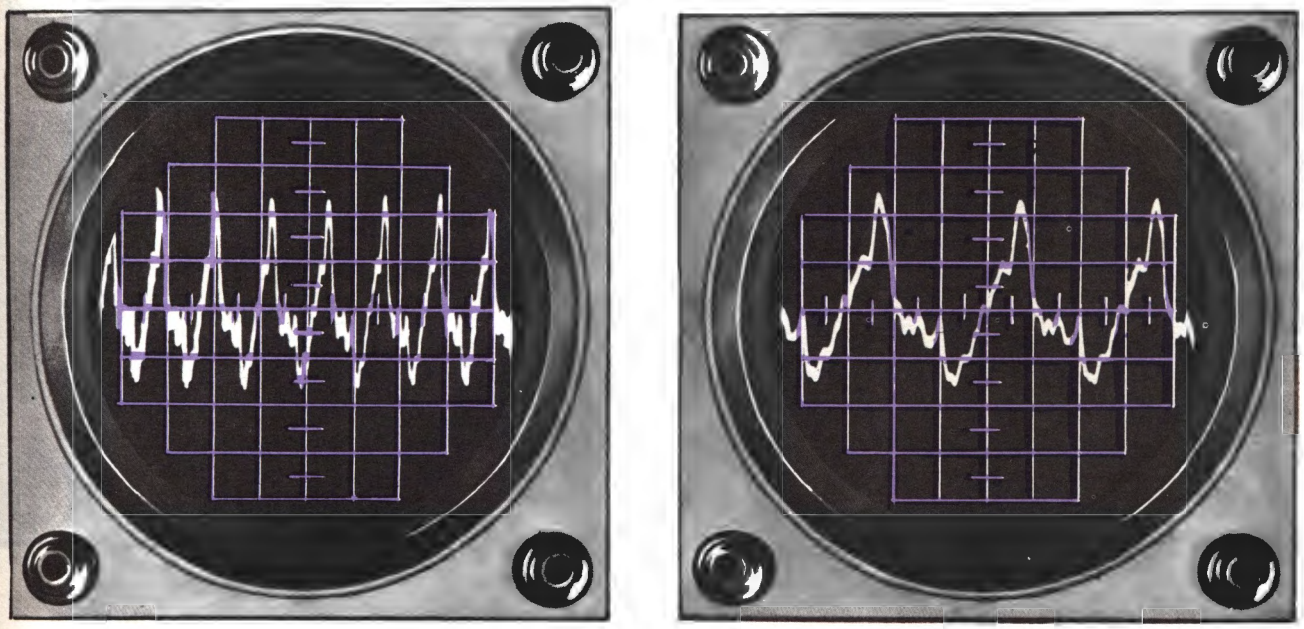
Si ahora pulsamos dos teclas del piano, ambas correspondientes a un *do* natural, pero separadas dos o tres octavas, podemos hacerlo en ambos casos con la misma intensidad; pero a pesar de ello nuestro oído percibirá una notable diferencia entre los dos sonidos. Se trata de un *do* natural en los dos casos, pero con la diferencia de su respectivo TONO. Uno será más agudo que el otro.

Los sonidos, atendiendo a su tono, se denominan agudos o graves. En el caso de un piano, el tono de los sonidos emitidos por cada tecla es tanto más grave cuanto más cerca nos encontremos del límite izquierdo del teclado. Serán tonos más agudos a medida que avancemos hacia la derecha del teclado.

Si repetimos la experiencia anterior, observaremos que la pantalla del osciloscopio revela vibraciones de mayor frecuencia a medida que aumenta la agudeza del sonido.

Así, pues, QUE UN SONIDO SEA MÁS O MENOS AGUDO O MÁS O MENOS GRAVE (O SEA, EL TONO DE ESTE SONIDO) DEPENDE DE LA FRECUENCIA DE LA VIBRACIÓN QUE LO ENGENDRE. Las vibraciones de frecuencia alta corresponden a tonos agudos; las de frecuencia baja, a tonos graves.





En la pantalla aparecen ahora los gráficos de dos sonidos de distinto tono, pero de igual timbre y amplitud.

Pero ¡cuidado! Tenga muy presente que cuando aquí nos referimos a la mayor o menor frecuencia de una vibración, nos referimos a ondas sonoras, o sea, a vibraciones del aire. Éstas, sean de frecuencias bajas o frecuencias altas, nada tienen que ver con las ondas electromagnéticas; vibraciones del éter podríamos decir.

Para que las vibraciones del aire puedan identificarse como sonidos deben tener una frecuencia comprendida de modo aproximado entre los 20 c/s y los 16.000 c/s.

Las vibraciones del aire de frecuencia inferior a 20 c/s son, ciertamente, vibraciones de la misma naturaleza que las vibraciones sonoras; pero, debido a su baja frecuencia, son incapaces de impresionar el oído humano. Se dice que son INFRASONIDOS. Lo mismo ocurre con las vibraciones del aire cuya frecuencia está por encima de los 16.000 c/s. A pesar de tener la misma naturaleza que las ondas sonoras, no impresionan el oído. Se les llama ULTRASONIDOS.

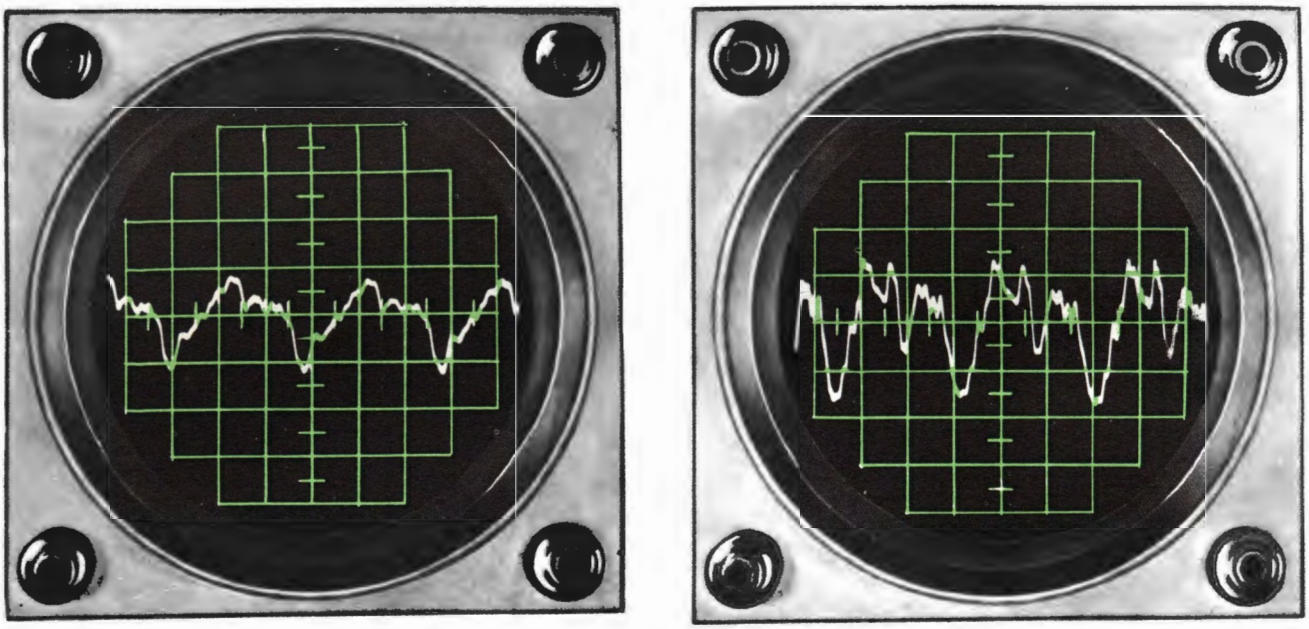
La gama de frecuencias audibles es la que corresponde a vibraciones comprendidas entre 20 c/s y 16.000 c/s. Es la llamada GAMA DE AUDIO.

Estudiemos la última de las tres cualidades del sonido:

Supongamos que con un piano emitimos un sonido correspondiente a un *do* natural; y que acto seguido oímos el mismo *do* natural (no más grave ni más agudo), pero emitido por una flauta. En este caso, no podemos distinguir un sonido de otro por su tono. Sin embargo, aparte la intensidad del sonido, que también podemos considerar igual en ambos casos, algo hay que nos permite distinguir la misma nota en el sentido de permitirnos diferenciar el *do* salido del piano y el *do* salido de la flauta. La diferencia está en el TIMBRE.

Ambos sonidos, vistos en forma de onda, en la pantalla del osciloscopio aparecerán con la misma frecuencia, puesto que se trata de la misma nota lanzada con el mismo tono, pero con un perfil distinto.

EN DOS SONIDOS DE DISTINTO TIMBRE PUEDE APRECIARSE QUE LA ONDA SONORA CORRESPONDIENTE TIENE DISTINTO PERFIL.



Dos sonidos, aun teniendo igual tono y amplitud, pueden diferenciarse por el timbre. Observe que el perfil de las dos ondas es distinto.

CARACTERISTICAS DE UN AMPLIFICADOR DE SONIDO

Amplificar un sonido consiste en obtener otro sonido de MAYOR INTENSIDAD, pero que conserve el MISMO TONO y el MISMO TIMBRE que el sonido original.

Ya sabemos cuál es el proceso a seguir para llegar a esta amplificación: convertir el sonido cuya intensidad pretendemos amplificar en corrientes eléctricas variables, que se aplican a un amplificador adecuado y salen de él en condiciones de accionar un reproductor capaz de convertirlas de nuevo en sonidos.

Recuerde que, sin el requisito de la amplificación, ya habíamos visto cómo es posible transmitir el sonido a gran distancia. Pero nada habíamos dicho de reproducirlos con mayor intensidad. Al contrario: en los casos estudiados, los sonidos reproducidos por el auricular son siempre más débiles que los sonidos originales producidos delante del micrófono.

Pues bien; ocurre que en este proceso resulta muy difícil conseguir que, además de un aumento en la intensidad del sonido, se logre que el timbre del sonido amplificado sea idéntico al del sonido original.

En otras palabras: los sonidos que en una instalación amplificadora de sonido emite el reproductor no *suenan* igual que los que se han producido delante del micrófono. Tales sonidos están deformados o DISTORSIONADOS respecto a los originales.

A esta distorsión de los sonidos contribuyen el micrófono, el amplificador y el reproductor.

El amplificador, en efecto, contribuye a la deformación del sonido. Y la causa está en el hecho de que las corrientes eléctricas que se obtienen a la salida del amplificador no sólo tienen mayor amplitud que a la entrada (es lo que pretendemos), sino que en mayor o menor grado habrá variado también su aspecto general.

Se utiliza el concepto DISTORSIÓN para indicar el mayor o menor grado de imperfecciones que tienen las señales a la salida en comparación con las señales a la entrada. La palabra distorsión es sinónimo de deformación.

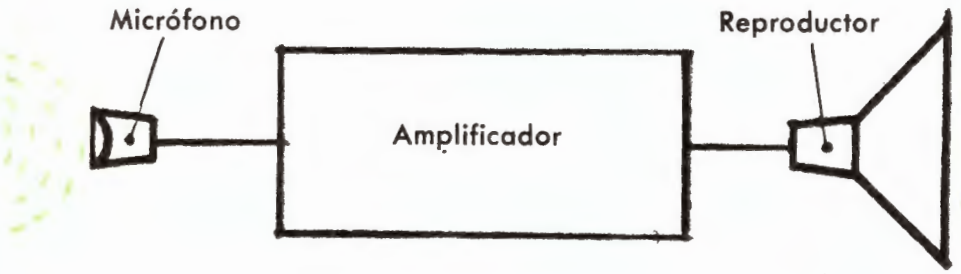


Diagrama de un amplificador de sonido. Los tres elementos contribuyen a la distorsión de los sonidos.

Centrando nuestro interés en el amplificador, diremos que presenta distorsión si la forma de las señales a la salida no es igual que la de las señales a la entrada.

La distorsión es un dato característico del amplificador, de modo que cuanta menos distorsión produzca más apto será para la amplificación de sonidos.

La verdad es que no existe ningún amplificador que sea rigurosamente fiel, lo que es lo mismo que decir que no hay amplificador que no distorsione. Sin embargo, pueden construirse amplificadores en los cuales la distorsión es tan pequeña que el oído es incapaz de percibirla.

Precisamente, la técnica de la ALTA FIDELIDAD versa sobre las condiciones que deben cumplir los amplificadores, micrófonos, reproductores y grabadores para que la distorsión del sonido reproducido sea mínima, inapreciable.

Otro factor que interesa considerar en un amplificador es la potencia de los sonidos que con él podemos obtener. Los sonidos, desde luego, no los produce el amplificador, sino que es el reproductor (auricular o altavoz) el encargado de

ello; pero sí que la intensidad de estos sonidos depende de la potencia de las corrientes eléctricas que el amplificador suministra, de la misma forma que la intensidad de los sonidos emitidos por un piano depende de la energía con que se pulsen las teclas.

La potencia de un amplificador (la que puede suministrar) depende de su constitución interna, sobre todo de la última válvula, la que está montada propiamente como amplificador de potencia.

Recuerde al respecto el final de la lección anterior. Según decíamos, cuanto mayor es la tensión que (dentro de ciertos límites) se aplica a la entrada del amplificador, mayor potencia se obtiene a la salida. Si hablamos de unos límites para la tensión que se aplique, es porque cuanto mayor potencia se pretende obtener mayor es también la distorsión que se produce.

Por ello, cuando se habla de la MÁXIMA POTENCIA DE SALIDA de un amplificador se sobrentiende que esta potencia se obtiene sin rebasar un determinado grado de distorsión. Así, por ejemplo, si nos dicen que un amplificador tiene una distorsión menor del 5 por 100 (ya veremos lo que ello significa) y que su potencia es de 6 vatios, se quiere significar que mientras no se exija al amplificador una potencia superior a estos 6 vatios la distorsión se mantendrá por debajo del límite fijado por el 5 por 100 de distorsión previsto. Desde luego, es posible obtener una potencia algo mayor aumentando la tensión a la entrada; sólo que en estas circunstancias la distorsión resultará mucho mayor.

Aún otro dato interesante de un amplificador: su sensibilidad de potencia. ES EL NÚMERO DE VOLTIOS EFICACES QUE DEBERÁN APLICARSE A LA ENTRADA DEL AMPLIFICADOR PARA OBTENER UN VATIO DE POTENCIA A LA SALIDA.

Resumamos:

Los datos característicos de un amplificador de potencia son tres:

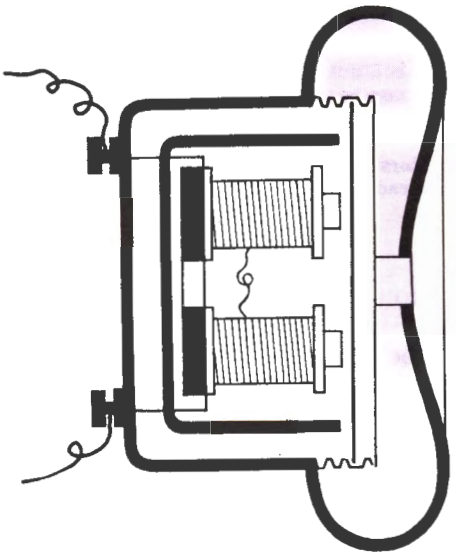
Su DISTORSIÓN.

Su MÁXIMA POTENCIA DE SALIDA.

Su SENSIBILIDAD DE POTENCIA.

ALTAVOCES

Para que los sonidos obtenidos con una instalación amplificadora resulten lo suficientemente intensos, no es bastante con que el amplificador proporcione una potencia eléctrica elevada. También es necesario contar con un reproductor capaz de convertir eficientemente la energía eléctrica en sonido.



Los movimientos del diafragma de un auricular quedan limitados por su tapa y sus bobinas.

En principio el único reproductor que hemos estudiado es el auricular, instrumento reproductor de escasísima eficacia para obtener sonidos intensos, audibles por varias personas a la vez.

La razón de la poca eficacia del auricular como reproductor de sonidos de intensidad apreciable está en el hecho de que es incapaz, por su propia naturaleza, de provocar amplias vibraciones del aire.

Para obtener sonidos intensos es necesario, por una parte, que el reproductor pueda vibrar con amplitud; y por otra, que tales vibraciones pongan en movimiento grandes masas de aire. El auricular es incapaz de conseguir ninguna de las dos cosas.

En efecto: para que las vibraciones tengan gran amplitud es preciso que la lámina móvil pueda efectuar movimientos también amplios, cosa que, por un lado, impide la tapa del auricular y por otro las bobinas contenidas en su interior. Deben quedar muy cerca del diafragma, demasiado cerca para que éste pueda vibrar con amplitud.

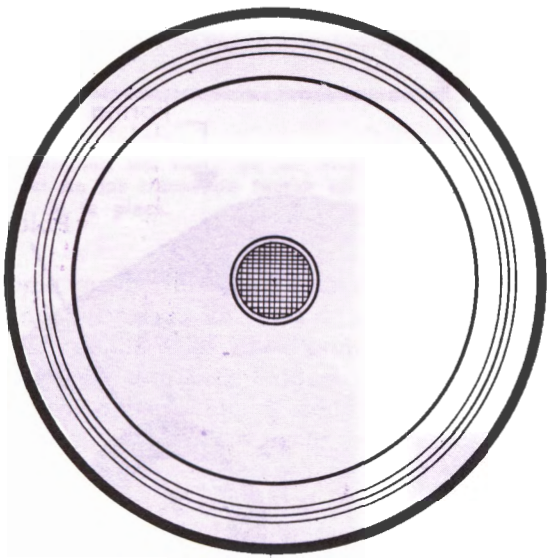
Supongamos, empero, que encontramos el sistema de conseguir que la lámina pueda vibrar libremente. La verdad es que con ello habríamos conseguido muy poca cosa, debido a que por la reducida superficie de la lámina será muy escasa la masa de aire puesta en movimiento.

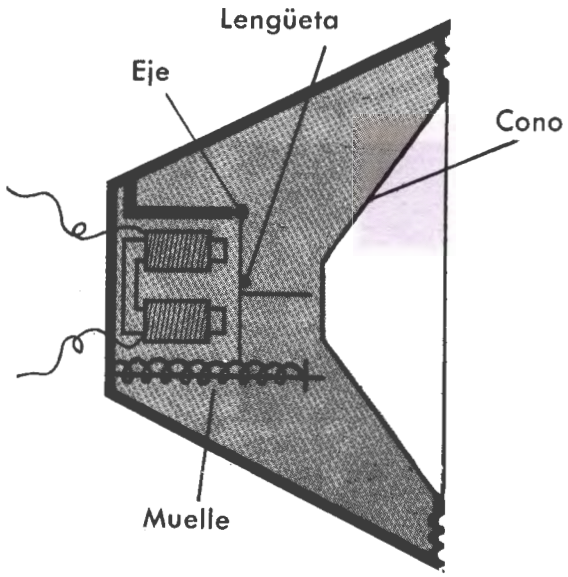
Es como si para remover el agua de un recipiente empleásemos un palillo. Aunque lo agitásemos con mucha energía el resultado sería apenas apreciable; el agua adquiriría un movimiento apenas perceptible. En cambio, removiendo con una cuchara, aprovecharemos mejor el esfuerzo y el movimiento de la masa líquida será realmente importante.

ALTAVOCES DE HIERRO MOVIL

Resulta, pues, que para reproducir sonidos que puedan oirse sin necesidad de aplicar la oreja al auricular deberemos encontrar un tipo de reproductor que elimine los dos inconvenientes del auricular. Tales dispositivos reproductores reciben el nombre de altavoces.

Una primera solución al problema de la reproducción del sonido se consiguió con los llamados ALTAVOCES DE HIERRO MÓVIL, que en esencia no son otra cosa que un auricular modificado para que pueda mover un volumen de aire más considerable. En estos altavoces la lámina móvil se ha sustituido por una lengüeta de hierro suspendida por un sistema elástico, por lo menos por uno de sus lados. Esta lengüeta queda unida solidariamente a un gran cono de papel de superficie mucho mayor que la de la primitiva lámina vibrante.





Para que el cono se mantenga en posición, sin impedir sus movimientos longitudinales, se fija por su borde libre a una carcasa metálica en forma de tronco de cono, en cuyo interior quedan situados los demás componentes del aparato. La unión entre el cono de cartón y la caja metálica se efectúa interponiendo una corona circular elástica, obtenida de una tela o papel con cierta resistencia, a la que se le proporciona una superficie en ondas concéntricas.

Estos altavoces, aunque mucho más efectivos que un auricular, presentan graves inconvenientes, tales como el de ser inadecuados para la reproducción de las tonalidades graves, que requieren gran amplitud en los movimientos del cono, los que en este caso quedan limitados, como en el auricular, por la proximidad de las bobinas a la lengüeta vibrante.

Por supuesto que el defecto no es tan acusado como en el caso del auricular; pero, aun así, los altavoces de hierro móvil resultan reproductores de escasa fidelidad.

En los altavoces modernos subsisten el cono de papel y la carcasa (de forma similar); en cambio, el mecanismo que provoca los movimientos del cono es distinto

ALTAVOCES DE BOBINA MOVIL

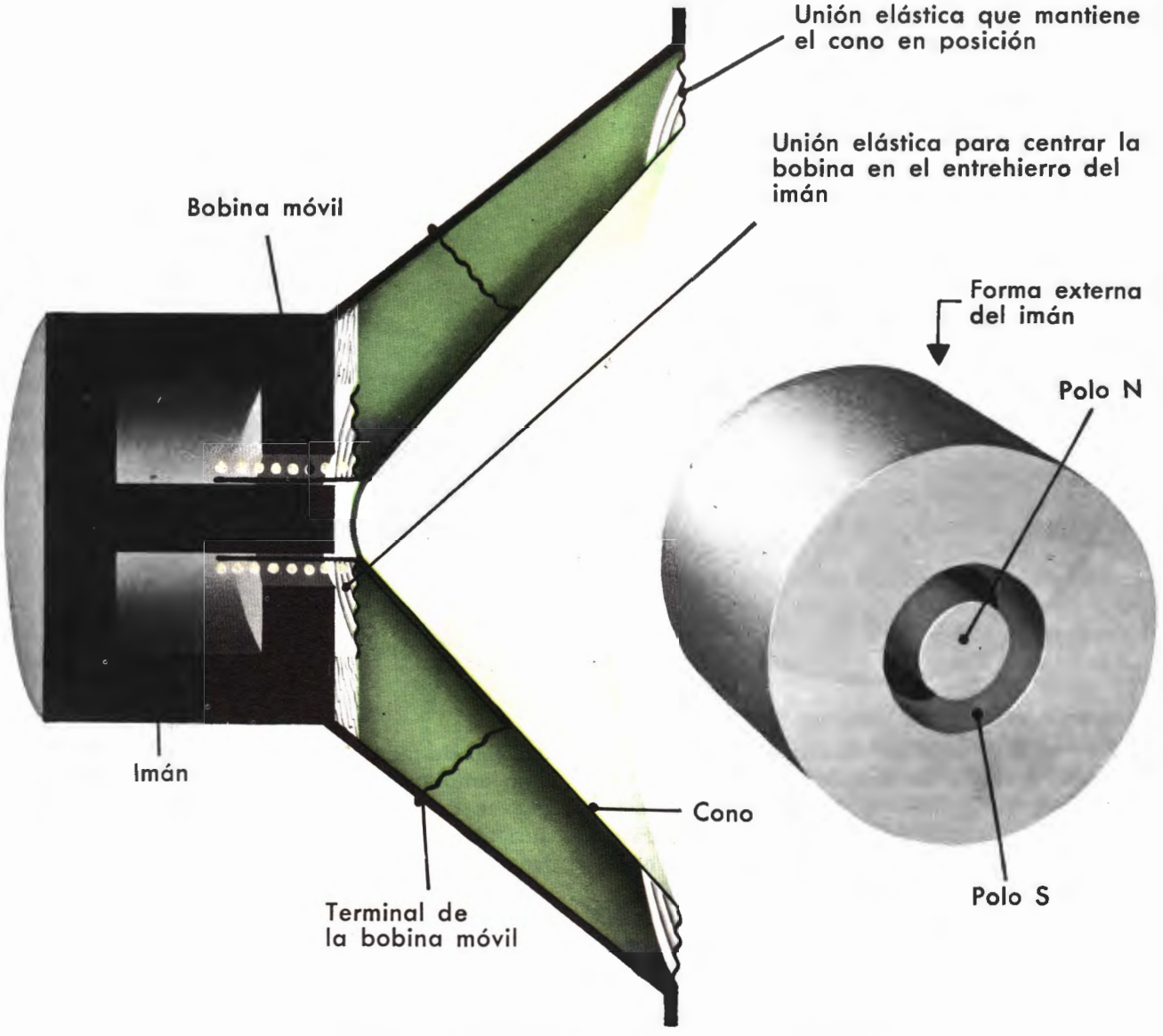
En estos altavoces, el vástago metálico que en los de hierro móvil une el cono a la lengüeta se sustituye por un tubo sobre el que se ha enrollado una pequeña bobina de hilo de cobre o de aluminio.

Esta bobina se sitúa entre los polos de un imán de forma muy peculiar, cuyo aspecto puede usted apreciar en la figura.

Se trata de un imán circular, cuyo entrehierro (separación entre polo norte y polo sur), también circular, deja el espacio justo para que por él pueda deslizarse la bobina.

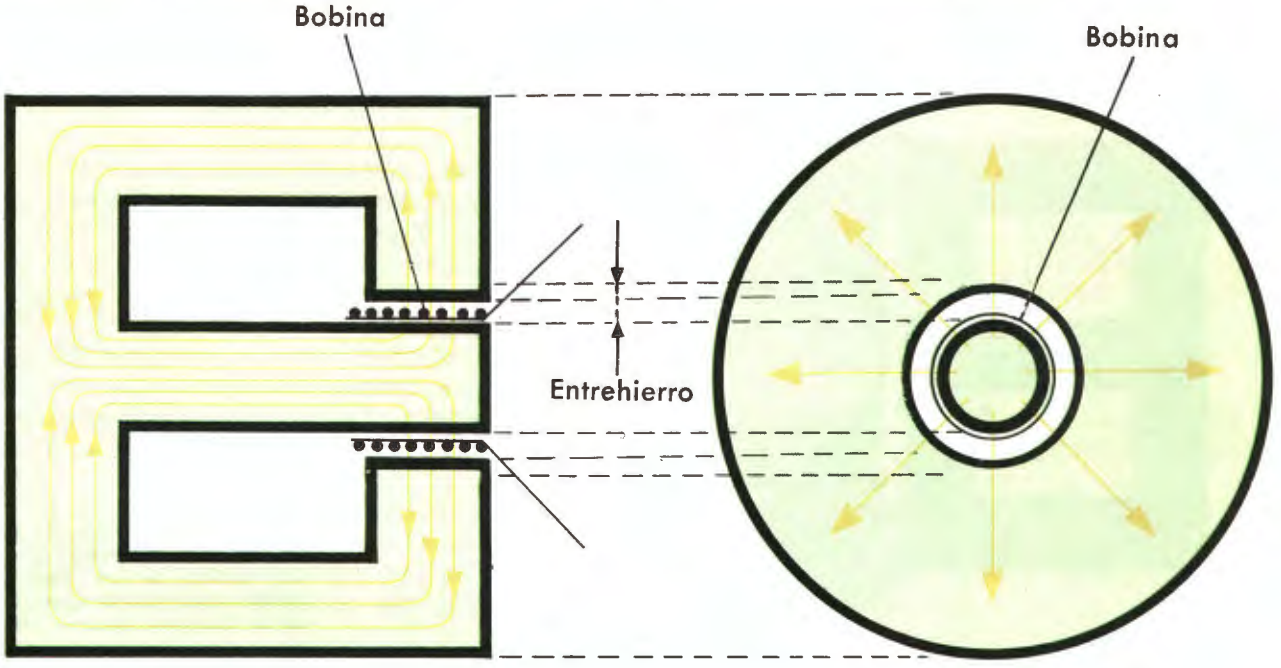
Los terminales de la bobina salen de ella pegados a la pared del cono del altavoz, y se unen a conductores muy flexibles que no impiden los movimientos vibratorios del cartón. Tales conductores se unen a sendos terminales metálicos unidos al cuerpo del aparato, pero aislados eléctricamente de él.

Estamos seguros de que, planteado el esquema de la constitución de estos altavoces, usted ha intuido el principio de su funcionamiento. En efecto, es el mismo que el del galvanómetro de cuadro móvil.



Representación seccionada de un altavoz de bobina móvil.

Veamos: el imán tiene uno de sus polos en el espárrago cilíndrico central que penetra en el interior de la bobina. Para entendernos diremos que se trata del polo N, aunque la polaridad es indiferente; y también podría ser el polo S, en cuyo caso la pieza envolvente (que es el otro polo) sería el N. Manteniendo la suposición de que el polo N del imán está en el espárrago cilindríco, las líneas de fuerza tendrían el aspecto que demuestra nuestro gráfico.



Representación del imán de un altavoz de bobina móvil. En color se ha indicado la dirección de las líneas de fuerza en el supuesto de que el polo N esté en el cilindro central de la pieza.

Como puede ver, las líneas de fuerza cortan perpendicularmente los hilos de la bobina, de forma que cuando tales hilos están recorridos por una corriente la bobina tenderá a desplazarse hacia dentro o hacia afuera, según sea el sentido de la corriente. Por otra parte, la fuerza que desplazará la bobina será tanto mayor cuanto más considerable sea la intensidad de la corriente que se le aplica; y como la bobina y el cono del altavoz forman un conjunto solidario, resulta que a mayor intensidad en la corriente que llegue a la bobina corresponde un movimiento de mayor amplitud en el cono.

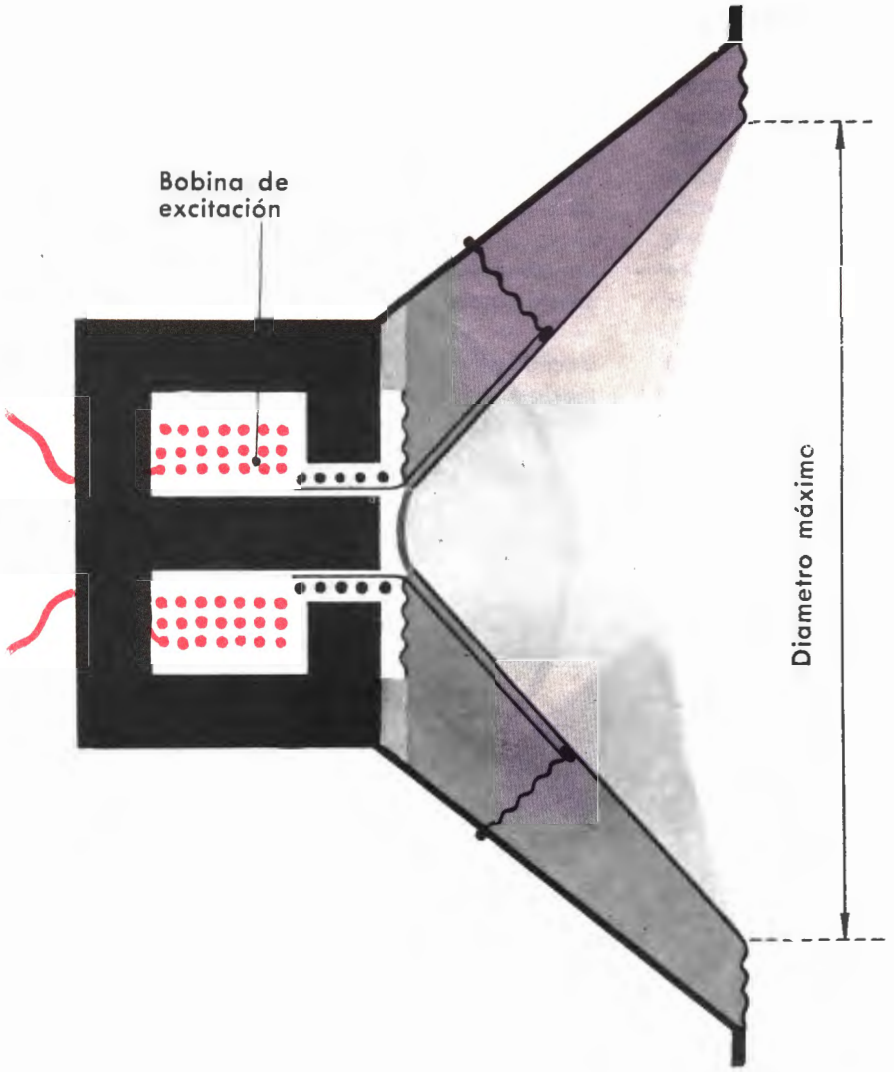
Se comprende, pues, que si hacemos llegar a la bobina de uno de estos altavoces las corrientes variables procedentes de un micrófono y convenientemente amplificadas, el cono del altavoz reproducirá los movimientos de la lámina móvil del micrófono, pero con mucha más amplitud, poniendo en vibración una considerable masa de aire y reproduciendo los sonidos emitidos ante aquél.

En los altavoces de este tipo los movimientos pueden ser mucho más amplios que en los de hierro móvil. Su rendimiento y fidelidad son muchísimo mejores.

ALTAVOCES AUTODINAMICOS Y ELECTRODINAMICOS

Existen dos variantes de altavoz de bobina móvil, una de las cuales es la que corresponde al modelo que acabamos de estudiar, en el cual el campo magnético necesario para provocar el movimiento de la bobina se obtiene con un imán permanente. Son altavoces AUTODINÁMICOS.

La otra variante se distingue por el hecho de que no se obtiene el campo magnético necesario por medio de un imán permanente, sino por un electroimán, que se obtiene alojando una bobina de hilo conductor en el interior de una pieza de hierro dulce de forma análoga a la del imán per-



Representación seccionada de un altavoz electrodinámico. La medida de un altavoz queda determinada por la de su diámetro máximo útil.

manente de la primera variante. A esta bobina se le llama bobina de excitación, y los altavoces de esta modalidad son ELECTRODINÁMICOS.

Un altavoz electrodinámico sólo funciona cuando se alimenta la bobina de excitación con una corriente continua.

La verdad es que los nombres de *electrodinámico* y *autodinámico*, dados a los altavoces con bobina de excitación y con imán permanente, son palabras que no tienen, en este caso, un significado demasiado preciso. Sin embargo, han quedado consagradas por el uso.

EL TAMAÑO DE LOS ALTAVOCES

Existen altavoces de muchos tamaños, tanto autodinámicos como electrodinámicos. Es norma general que se determine el tamaño de un altavoz tomando como referencia el diámetro mayor de su cono. Este diámetro se da en pulgadas.

La pulgada (unidad de longitud del sistema inglés de medidas) equivale a 25'4 mm. El símbolo de la pulgada consiste en dos comillas situadas en la parte superior derecha de la cantidad a expresar. Así, por ejemplo, la notación 12" se leerá *doce pulgadas*.

Por tanto, cuando nos hablen de un altavoz de 8" (ocho pulgadas) sabremos que se trata de un altavoz cuyo cono tiene un diámetro máximo de ocho pulgadas, o sea, 25'4 × 8 = 203'2 mm.

La mayor variedad de medidas se encuentra

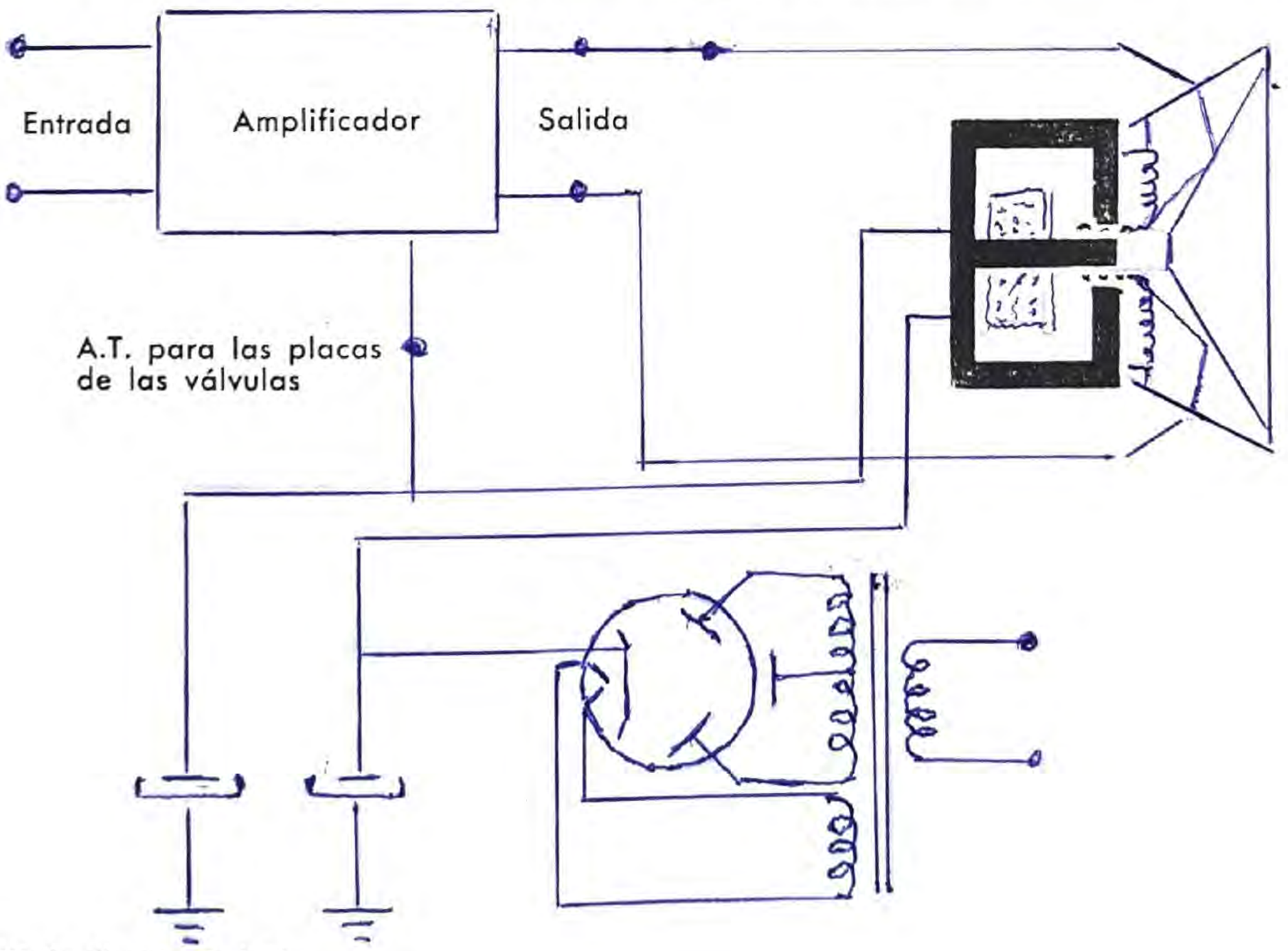
en los altavoces autodinámicos, cuyo tamaño oscila entre los de dos pulgadas (2"), de los diminutos altavoces para receptores de transistores y los de catorce o más pulgadas empleados para sonorizar grandes locales, como cines y salas de espectáculos en general.

FORMA DE ALIMENTAR LA BOBINA DE EXCITACION

El hecho de que los altavoces electrodinámicos requieran una corriente continua auxiliar para alimentar la bobina de excitación puede parecer un grave inconveniente. Sin embargo, no representa ningún problema grave, ni mucho menos, en los altavoces de tamaño moderado (de 6 a 8 pulgadas) que se emplean en los receptores normales. El problema se resuelve de una forma muy ingeniosa aprovechando la misma corriente continua que suministra la fuente de alimentación.

El sistema consiste en eliminar la resistencia de filtro colocada entre los condensadores electrolíticos. Ahora se intercala entre los condensadores la bobina de excitación del altavoz, con lo cual no sólo se consigue magnetizar el núcleo del altavoz, sino que, por añadidura, se obtiene filtrado mucho más perfecto, debido a que la autoinducción de la bobina de excitación impide eficazmente las variaciones de la intensidad de la corriente. En consecuencia, la tensión a la salida de la fuente de alimentación es mucho más regular.

Vea, pues, el esquema que ilustra sobre la forma de unir el altavoz al circuito del receptor. Recordemos al respecto que, por un lado, el altavoz requiere una corriente continua que alimente la bobina de excitación; y por otro, la corriente variable, procedente del amplificador, que recorra la bobina móvil.



Forma de alimentar la bobina de excitación de un amplificador electrodinámico.

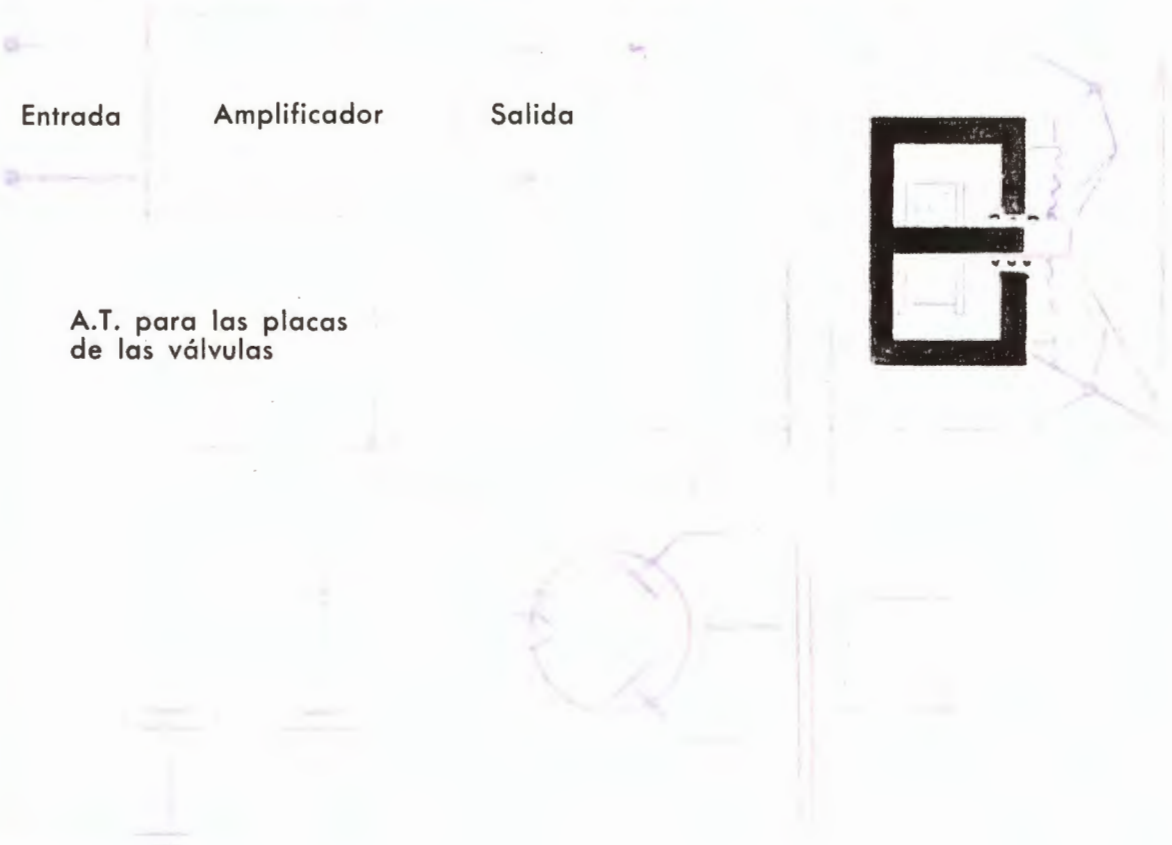
en los altavoces autodinámicos, cuyo tamaño oscila entre los de dos pulgadas (2"), de los diminutos altavoces para receptores de transistores y los de catorce o más pulgadas empleados para sonorizar grandes locales, como cines y salas de espectáculos en general.

FORMA DE ALIMENTAR LA BOBINA DE EXCITACION

El hecho de que los altavoces electrodinámicos requieran una corriente continua auxiliar para alimentar la bobina de excitación puede parecer un grave inconveniente. Sin embargo, no representa ningún problema grave, ni mucho menos, en los altavoces de tamaño moderado (de 6 a 8 pulgadas) que se emplean en los receptores normales. El problema se resuelve de una forma muy ingeniosa aprovechando la misma corriente continua que suministra la fuente de alimentación.

El sistema consiste en eliminar la resistencia de filtro colocada entre los condensadores electrolíticos. Ahora se intercala entre los condensadores la bobina de excitación del altavoz, con lo cual no sólo se consigue magnetizar el núcleo del altavoz, sino que, por añadidura, se obtiene filtrado mucho más perfecto, debido a que la autoinducción de la bobina de excitación impide eficazmente las variaciones de la intensidad de la corriente. En consecuencia, la tensión a la salida de la fuente de alimentación es mucho más regular.

Vea, pues, el esquema que ilustra sobre la forma de unir el altavoz al circuito del receptor. Recordemos al respecto que, por un lado, el altavoz requiere una corriente continua que alimente la bobina de excitación; y por otro, la corriente variable, procedente del amplificador, que recorra la bobina móvil.



Forma de alimentar la bobina de excitación de un amplificador electrodinámico.

LA IMPEDANCIA DE LOS ALTAVOCES

La intensidad de los sonidos emitidos por un altavoz depende de la potencia de las corrientes eléctricas que le suministra el amplificador. Se comprende, pues, que el último paso de amplificación esté constituido por una válvula montada como *amplificador de potencia*. Desde esta válvula las corrientes van directamente a la bobina del altavoz. Será la válvula de *salida*, llamada también válvula final.

Por nuestros estudios sobre la amplificación, sabemos que la máxima *sensibilidad de potencia* de esta válvula (mayor número de vatios de salida por cada voltio eficaz aplicado a la rejilla) se obtiene cuando la resistencia de carga, o dispositivo que deba ser accionado por el amplificador, tiene un valor óhmico igual a la resistencia interna o de placa de la válvula de salida.

Y puesto que, en el caso que nos ocupa, el dispositivo que se conecta al amplificador (concretamente a su válvula de salida) es la bobina móvil del altavoz, resulta que la resistencia de dicha bobina debe ser igual a la resistencia de placa de la válvula. La bobina móvil actúa como carga para la válvula.

Por el hecho de que el altavoz funcione con corrientes alternas, debe tenerse en cuenta que la oposición que presenta su bobina móvil depende de varios factores.

Es un hecho general que el comportamiento de una bobina ante una corriente alterna depende no sólo de la resistencia óhmica del hilo de que está formada, sino también de su autoinducción. Si además la bobina se mueve dentro de un campo magnético, aparecen en ella corrientes inducidas que se oponen a las corrientes que han creado el movimiento.

Así, resumiendo, podemos decir que la oposición que presenta la bobina móvil del altavoz al paso de las corrientes alternas procedentes del amplificador depende de tres factores:

1.º De la resistencia del hilo que forma la bobina.
2.º De la autoinducción de la bobina.
3.º De las corrientes inducidas que aparecen en la bobina, a causa de sus desplazamientos en el interior del campo magnético creado por el electroimán o imán, que se opone a las corrientes que envía el amplificador.

Puesto que la oposición total que opone una bobina al paso de las corrientes alternas no depende sólo de la resistencia del hilo, no sería correcto darle el nombre clásico de una resistencia. En el caso de una bobina hablaremos de su IMPEDANCIA.

LLAMAMOS IMPEDANCIA DE UNA BOBINA A LA OPOSICIÓN QUE PRESENTA AL PASO DE UNA CORRIENTE ALTERNA. ESTA IMPEDANCIA SE MIDE EN OHMIOS.

Pese a que la impedancia de una bobina no sólo depende de la resistencia del hilo, sino también de los fenómenos de autoinducción e inducción que en ella tienen lugar, y éstos dependen de la frecuencia de la corriente, podemos considerar en primera aproximación que, dentro de la gama de frecuencias en que debe funcionar un altavoz, la impedancia es constante para cada altavoz.

Esta constancia es tanto más cierta (entre 20 c/s y 16.000 c/s) cuanto mejor es la calidad del altavoz.

Considerando los tres factores que motivan la impedancia de una bobina, es fácil comprender que la impedancia de la bobina móvil de un altavoz aumenta con el número de espiras de que conste. A más espiras, mayor impedancia.

Como, por otra parte, conviene que el entrehierro del imán del altavoz sea muy pequeño, puesto que de otra forma bajaría mucho la intensidad del campo magnético, se comprende que para mantener esta estrechez del entrehierro (conveniente en sumo grado) el número de espiras de la bobina móvil que debe deslizarse por él no podrá sobrepasar ciertos límites. De ello se desprende que la impedancia de los altavoces nunca podrá ser muy elevada. Lo normal es que esté comprendida entre los 2 Ω y los 8 Ω. Si bien con técnicas especiales se han conseguido hoy en día altavoces cuya impedancia es del orden de 800 Ω, su empleo no se ha generalizado, pues son bastante frágiles.

En cambio, la resistencia de placa de los triodos utilizados como válvulas de salida tiene un valor mínimo de centenas de ohmios y muy corrientemente de varios miles de ohmios. De ello resulta que si conectamos directamente a la placa de un triodo la bobina móvil de un altavoz (cuya impedancia tendrá un valor muy por debajo del que tiene la resistencia de placa) estaremos ante un caso típico de una resistencia de carga (en este caso, mejor impedancia de carga) mucho más pequeña que la resistencia de placa del triodo.

Total: que, prácticamente, tendríamos un amplificador de intensidad; no un amplificador de potencia, que sería casi nula.

Además, por un altavoz conectado en las anteriores condiciones no sólo circularía la componente alterna de la corriente de placa, sino que también pasaría la componente continua, cosa que debe evitarse, pues de otra forma el cono del altavoz quedaría desplazado permanentemente hacia uno u otro lado del núcleo del imán, lo que limitaría la amplitud de los movimientos.

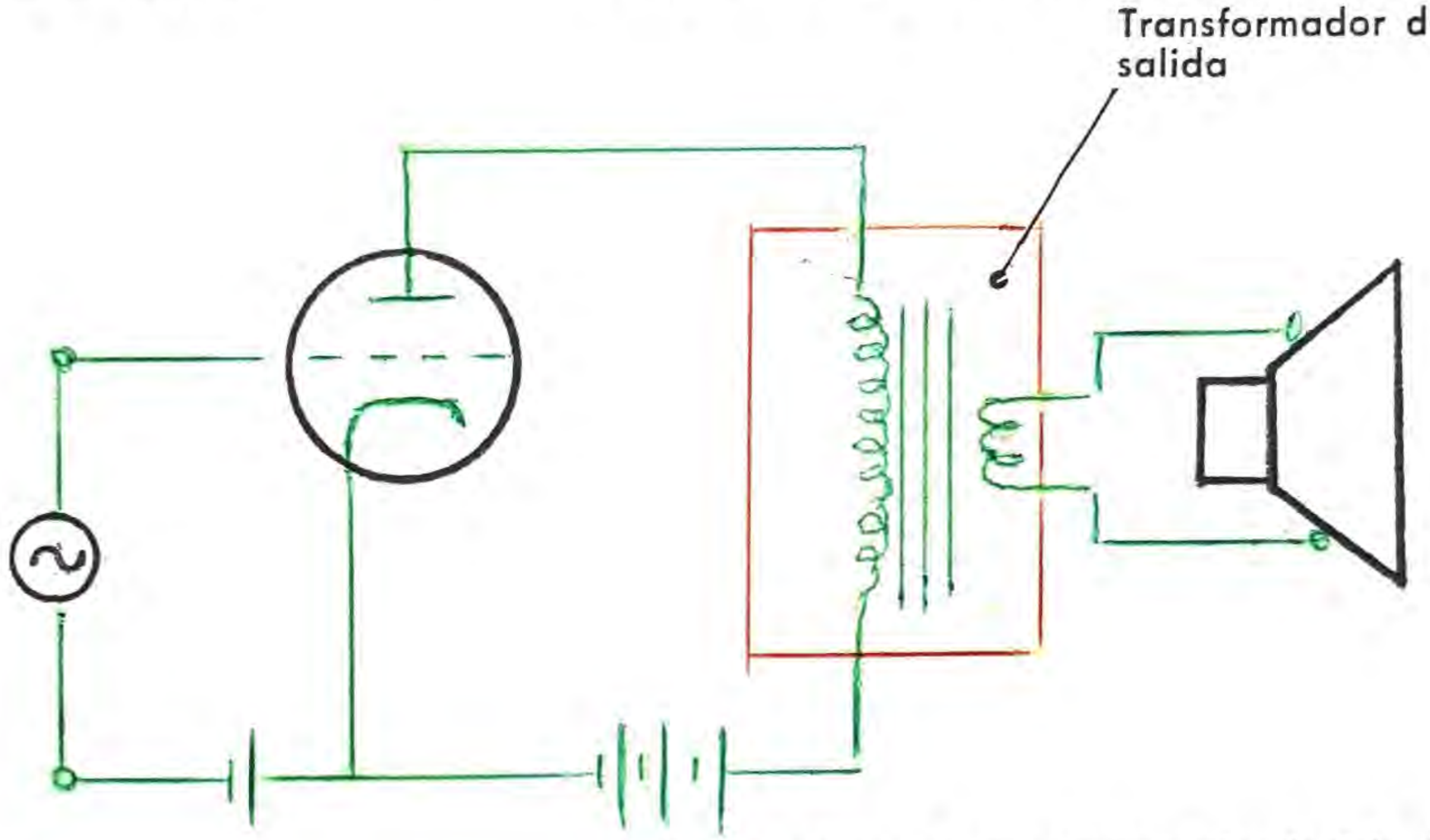
ACOPLAMIENTO DEL ALTAVOZ A LA VÁLVULA DE SALIDA

¿Cuál es la solución al problema que plantea la baja impedancia de los altavoces? Vamos a decirlo sin el menor rodeo:

ACOPLARLO A TRAVÉS DE UN TRANSFORMADOR CUYO PRIMARIO SE ALIMENTE DE LA CORRIENTE DE PLACA DE LA VÁLVULA DE SALIDA Y CUYO SECUNDARIO ALIMENTE LA BOBINA MÓVIL DEL ALTAVOZ.

Este transformador recibe el nombre de TRANSFORMADOR DE SALIDA O TRANSFORMADOR DE ALTAVOZ.

El primario de este transformador tiene muchas más espiras que su secundario; y cuando la relación entre el número de espiras es la adecuada, dicho transformador permite obtener la máxima sensibilidad de potencia.



¿POR QUE?

Véamoslo:

Suponga que disponemos de un transformador que tiene diez veces más espiras en el primario que en el secundario. Ello quiere decir que su índice de transformacoón $n = \frac{1}{10} = 0'1$.

Supongamos también que al secundario hemos conectado una resistencia $R_s = 1\ \Omega$.

Bajo estas condiciones, aplicamos al primario una tensión alterna de 10 V; con lo cual, y de acuerdo con el índice de transformación, a la salida del secundario mediremos tan sólo una tensión de salida $V_s = 0'1 \times 10 = 1$ V.

Y puesto que esta tensión de 1 V se aplica a una resistencia de 1 Ω, la intensidad que circulará por el secundario deberá ser forzosamente de 1 A, puesto que es

$$I_s = \frac{V_s}{R_s} = \frac{1\ V}{1\ \Omega.} = 1\ A$$

Por el primario, naturalmente, circulará la décima parte de esta intensidad.

En efecto:

$$I_p = n \times I_s = 0'1 \times 1 = 0'1\ A$$

Conociendo la tensión aplicada al primario (10 V) y la intensidad que por él circula, podemos saber la resistencia que encuentra la corriente. Según la ley de Ohm, debe ser

$$R_p = \frac{V_p}{I_p} = \frac{10}{0'1} = 100\ \Omega$$

Generalizando la cuestión podemos deducir:

$$R_p = \frac{V_p}{I_p} = \frac{V_s/n}{n \times I_s} = \frac{1}{n^2} \times \frac{V_s}{I_s}$$

Además, por un altavoz conectado en las anteriores condiciones no sólo circularía la componente alterna de la corriente de placa, sino que también pasaría la componente continua, cosa que debe evitarse, pues de otra forma el cono del altavoz quedaría desplazado permanentemente hacia uno u otro lado del núcleo del imán, lo que limitaría la amplitud de los movimientos.

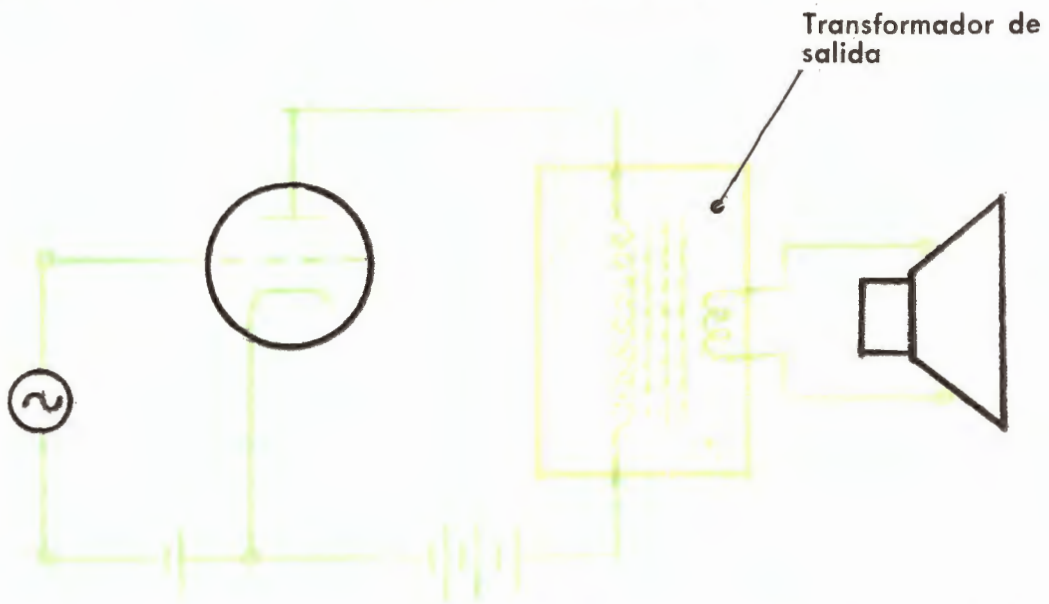
ACOPLAMIENTO DEL ALTAVOZ A LA VALVULA DE SALIDA

¿Cuál es la solución al problema que plantea la baja impedancia de los altavoces? Vamos a decirlo sin el menor rodeo:

ACOPLARLO A TRAVÉS DE UN TRANSFORMADOR CUYO PRIMARIO SE ALIMENTE DE LA CORRIENTE DE PLACA DE LA VÁLVULA DE SALIDA Y CUYO SECUNDARIO ALIMENTE LA BOBINA MÓVIL DEL ALTAVOZ.

Este transformador recibe el nombre de TRANSFORMADOR DE SALIDA O TRANSFORMADOR DE ALTAVOZ.

El primario de este transformador tiene muchas más espiras que su secundario; y cuando la relación entre el número de espiras es la adecuada, dicho transformador permite obtener la máxima sensibilidad de potencia.



¿POR QUE?

Véamoslo:

Suponga que disponemos de un transformador que tiene diez veces más espiras en el primario que en el secundario. Ello quiere decir que su índice de transformacoón $n = \frac{1}{10} = 0'1$.

Supongamos también que al secundario hemos conectado una resistencia $R_s = 1\ \Omega$.

Bajo estas condiciones, aplicamos al primario una tensión alterna de 10 V; con lo cual, y de acuerdo con el índice de transformación, a la salida del secundario mediremos tan sólo una tensión de salida $V_s = 0'1 \times 10 = 1$ V.

Y puesto que esta tensión de 1 V se aplica a una resistencia de 1 Ω, la intensidad que circulará por el secundario deberá ser forzosamente de 1 A, puesto que es

$$I_s = \frac{V_s}{R_s} = \frac{1\ V}{1\ \Omega.} = 1\ A$$

Por el primario, naturalmente, circulará la décima parte de esta intensidad.

En efecto:

$$I_p = n \times I_s = 0'1 \times 1 = 0'1\ A$$

Conociendo la tensión aplicada al primario (10 V) y la intensidad que por él circula, podemos saber la resistencia que encuentra la corriente. Según la ley de Ohm, debe ser

$$R_p = \frac{V_p}{I_p} = \frac{10}{0'1} = 100\ \Omega$$

Generalizando la cuestión podemos deducir:

$$R_p = \frac{V_p}{I_p} = \frac{V_s/n}{n \times I_s} = \frac{1}{n^2} \times \frac{V_s}{I_s}$$

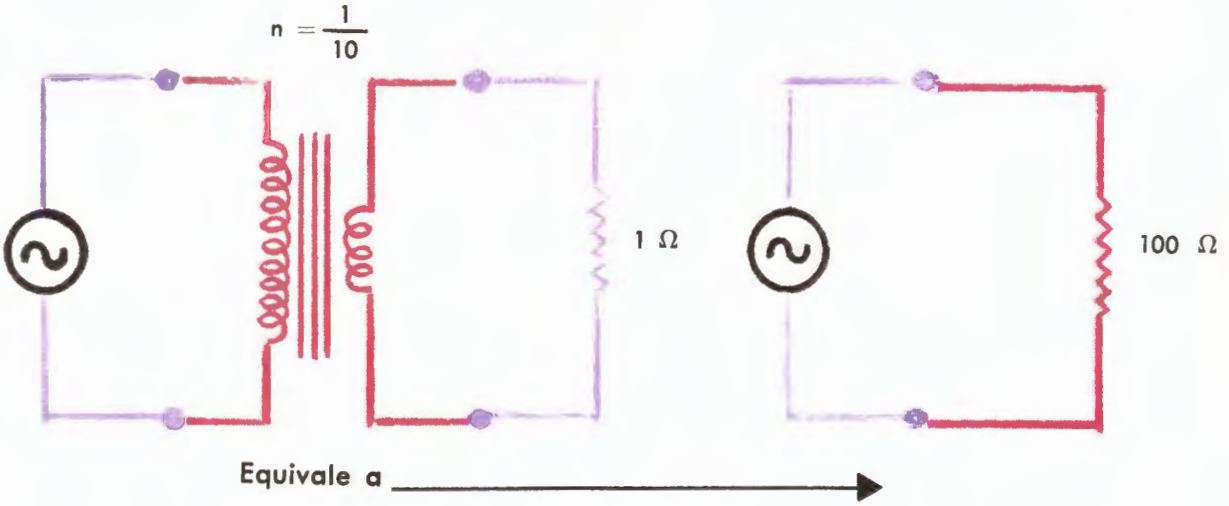
Y siendo $V_s/I_s = R_s$, llegamos a esta conclusión:

$$R_p = R_s \frac{1}{n^2}$$

En el caso concreto que nos ocupa, al ser $n = 0'1$ y $R_s = 1$, la resistencia del primario R_p será:

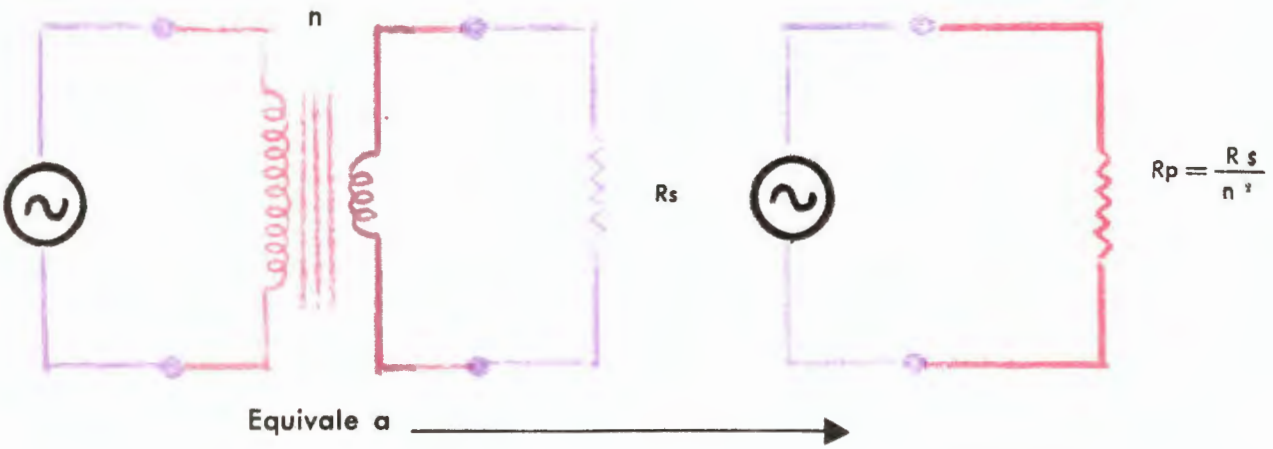
$$R_p = 1 \times \frac{1}{0'1^2} = 1 \times 100 = 100\ \Omega$$

Resulta que, al suministrar corriente a una resistencia de 1 Ω a través de un transformador de $n = 1/10$, es como si el generador la estuviese suministrando a una resistencia cien veces mayor.

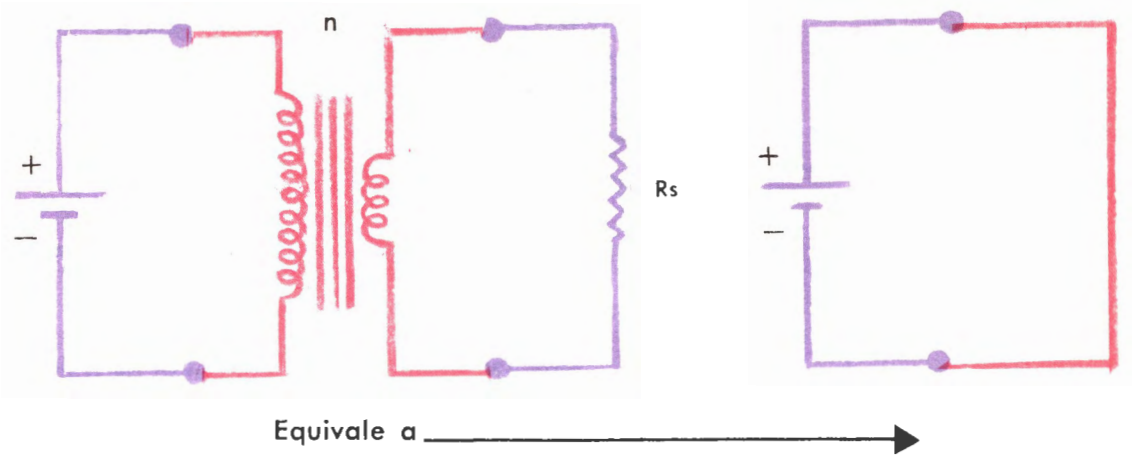


El resultado, lo repetimos, es general: siempre que *a través de un transformador* de índice igual a *n* suministremos corriente a una resistencia R_s, para el generador es como si el primario fuese una resistencia de valor

$$R_p = \frac{R_s}{n^2}$$



Se sobrentiende que lo dicho es sólo cierto para corriente alterna, ya que una corriente continua sólo encontraría la resistencia propia del hilo del primario, resistencia que puede considerarse despreciable. En c.c., pues, el primario actuaría como un cortocircuito.



Con un generador de c.c. el primario del transformador se comportaría como un cortocircuito.

RECTA ESTATICA DE CARGA Y RECTA DINAMICA DE CARGA

Ha llegado el momento de centrar ideas y aplicarlas a la práctica.

Nada mejor para ello que estudiar el acoplamiento de un altavoz del que conocemos la impedancia. Digamos, por ejemplo, que debemos acoplar un altavoz de $Z = 8\ \Omega$ (la impedancia se designa con la letra Z) a nuestro triodo ideal, cuya resistencia de placa, según recordará, es $R_i = 17.500\ \Omega$.

Estamos, pues, ante un caso característico de una resistencia de carga (impedancia en este caso) ante una resistencia interna muy superior, donde $R_s = 8\ \Omega$ y $R_p = 17.500\ \Omega$. ¿Qué índice de transformación debemos emplear?

De la fórmula $R_p = \dfrac{R_s}{n^2}$ deducimos:

$$n^2 = \frac{R_s}{R_p}$$

de donde resulta

$$n = \sqrt{\frac{R_s}{R_p}}$$

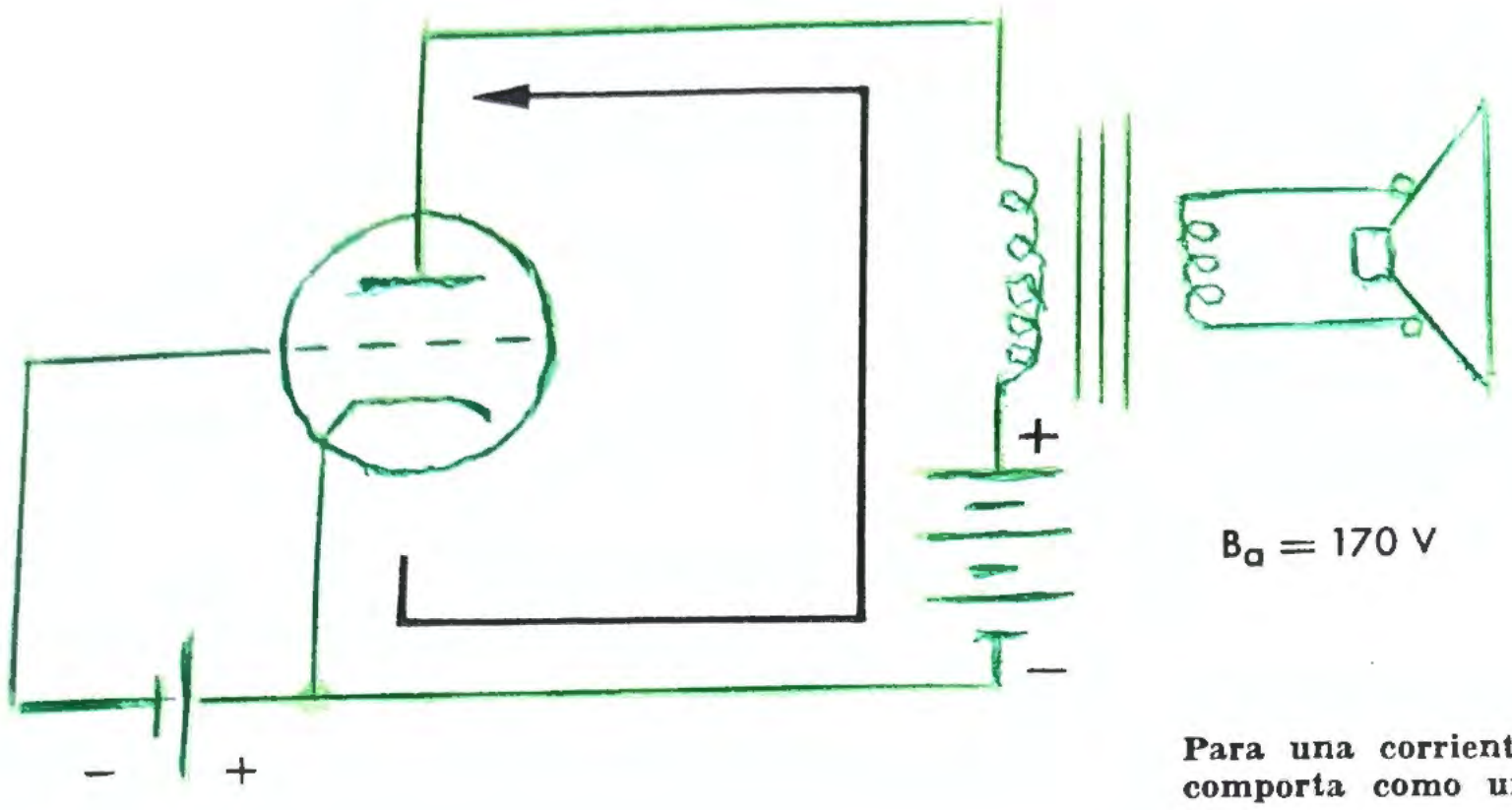
$$n = \sqrt{\frac{R_s}{R_p}} = \sqrt{\frac{8}{17500}} = \frac{1}{14'8}$$

El resultado es, pues, que deberemos emplear un transformador que tenga 14'8 veces más espiras en el primario que en el secundario.

Observe que sólo hablamos de la relación entre el número de espiras entre primario y secundario, no de cuál debe ser este número. Ésta es otra cuestión que atañe al cálculo de transformadores, cosa que puede usted repasar en la lección 7 y sobre la que volveremos a insistir.

Pues bien; si conectamos el altavoz a nuestro triodo ideal a través del transformador cuya *n* hemos calculado, si en principio suponemos que la rejilla está directamente unida a la batería de polarización, resultará que el primario del transformador no presenta otra resistencia que la debida a la cantidad del hilo con que se ha bobinado, resistencia que siempre será mucho menor que la resistencia interna del triodo. Podemos considerar que en este caso la placa queda directamente unida a la batería.

PARA LA CORRIENTE CONTINUA, EL TRANSFORMADOR ES UNA RESISTENCIA DE CARGA DE VALOR CERO.



$B_a = 170$ V

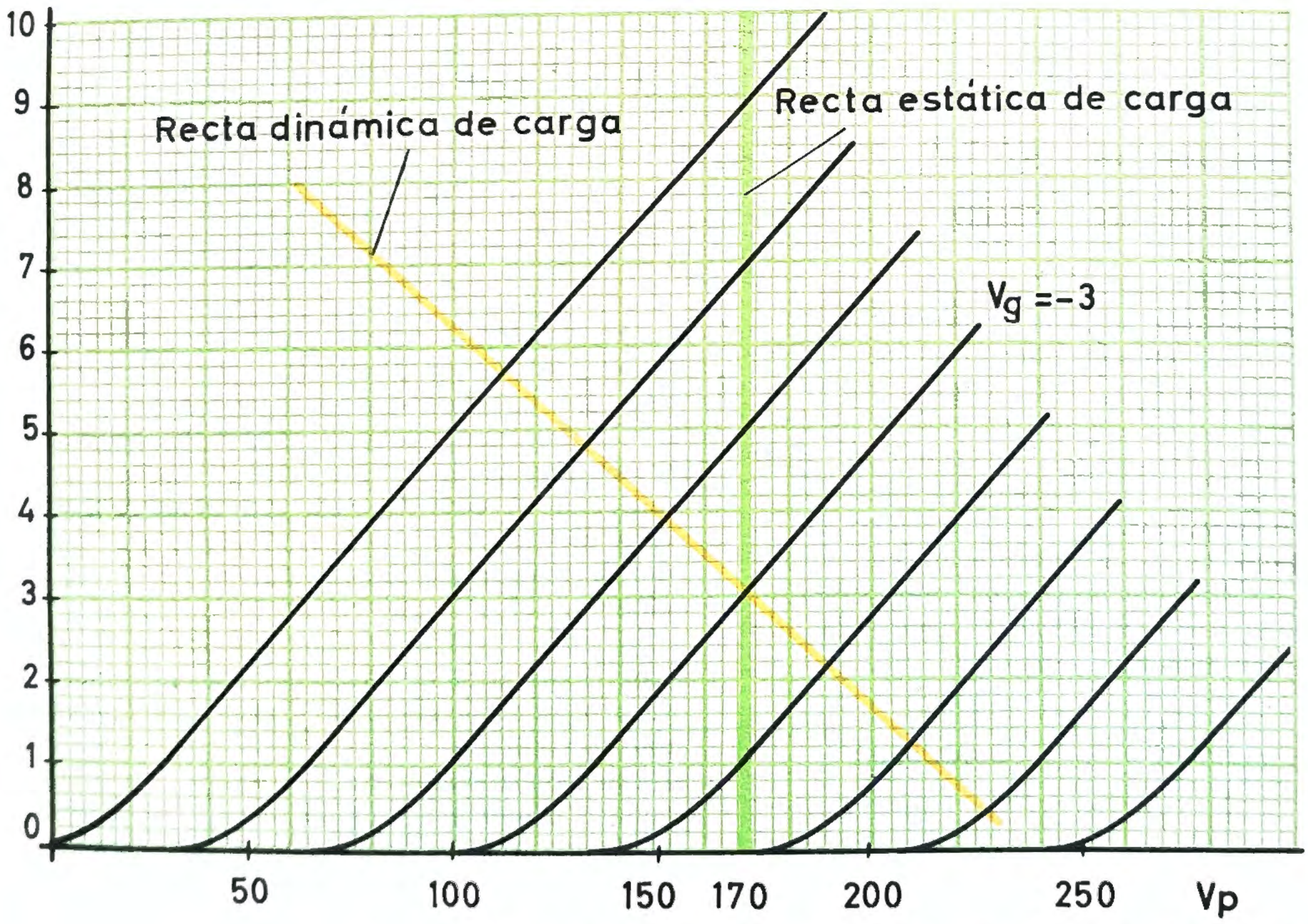
Para una corriente continua, el transformador se comporta como una resistencia de carga igual a cero.

$B_c = 3$ V

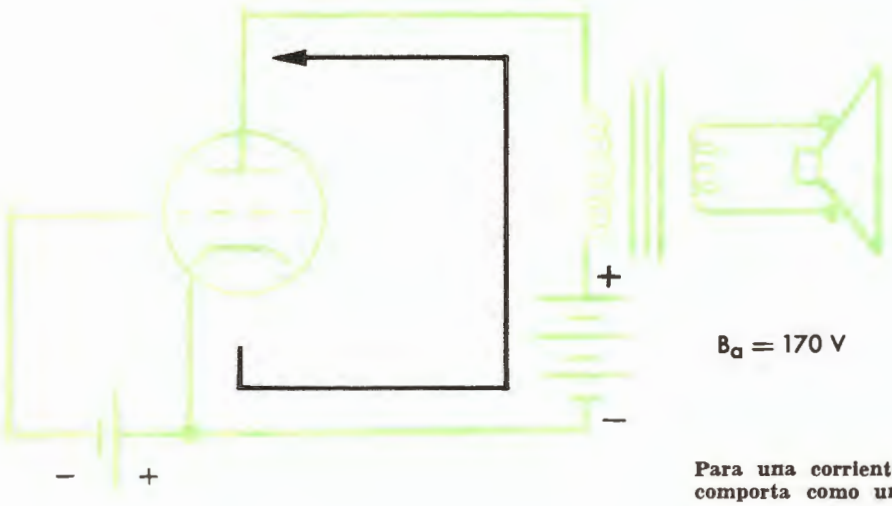
Si la batería de polarización de rejilla B_c proporciona una tensión de —3 V y la batería de placa es de 170 V, para determinar la intensidad que circula por el triodo bastará con trazar una perpendicular al punto que en el eje de tensiones de las características de placa del triodo señala 170 V, para obtener el punto de trabajo sobre la característica $V_g = —3$ V.

Esta recta recibe el nombre de RECTA ESTÁTICA DE CARGA.

En estas condiciones la intensidad a través del triodo es de 3 mA.



Cuando aplicamos una tensión continua a la rejilla del triodo, la recta de carga es una perpendicular al punto de V_p considerado. La llamamos recta estática de carga. Cuando además de la tensión continua aplicamos una tensión alterna a la rejilla del triodo, la tensión e intensidad de carga variarán a tenor de las variaciones de V_g. Obtenemos la recta dinámica de carga que pasa por el punto de trabajo.

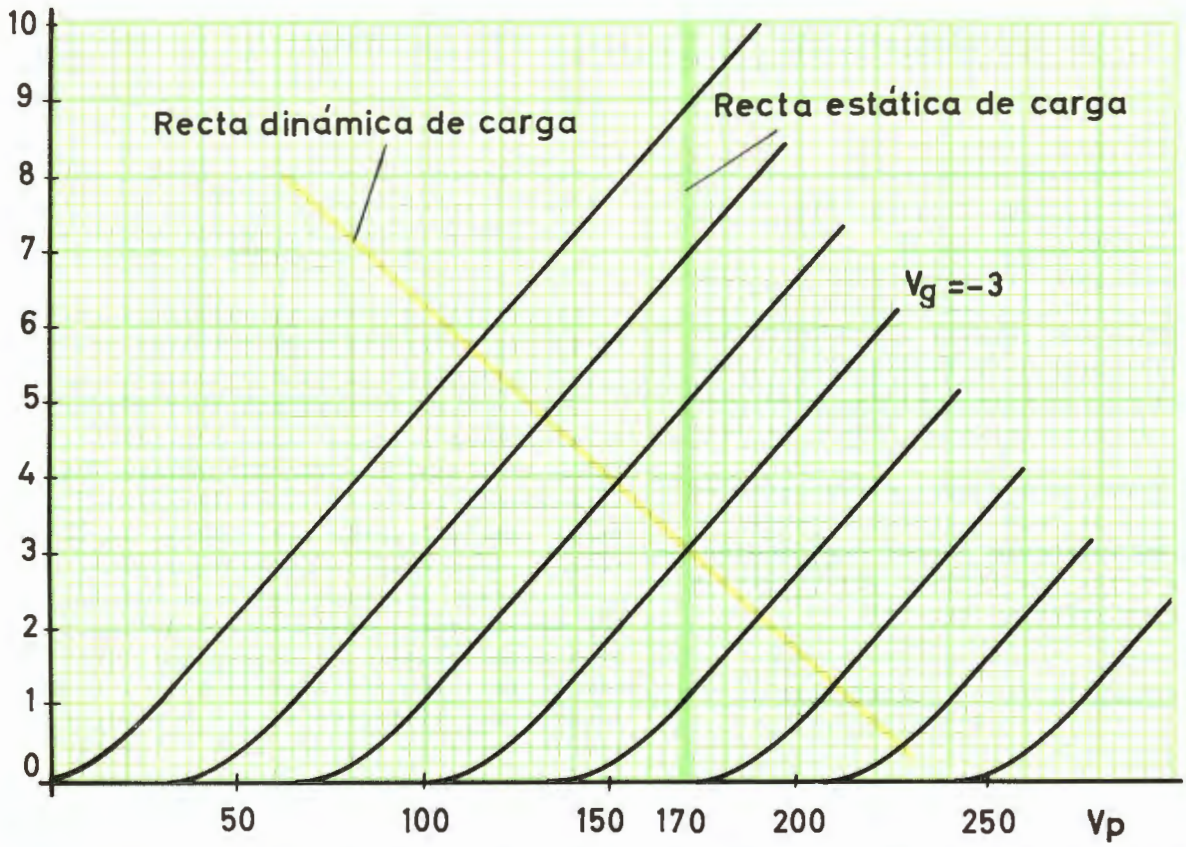


Para una corriente continua, el transformador se comporta como una resistencia de carga igual a cero.

Si la batería de polarización de rejilla B_c proporciona una tensión de —3 V y la batería de placa es de 170 V, para determinar la intensidad que circula por el triodo bastará con trazar una perpendicular al punto que en el eje de tensiones de las características de placa del triodo señala 170 V, para obtener el punto de trabajo sobre la característica $V_g = -3$ V.

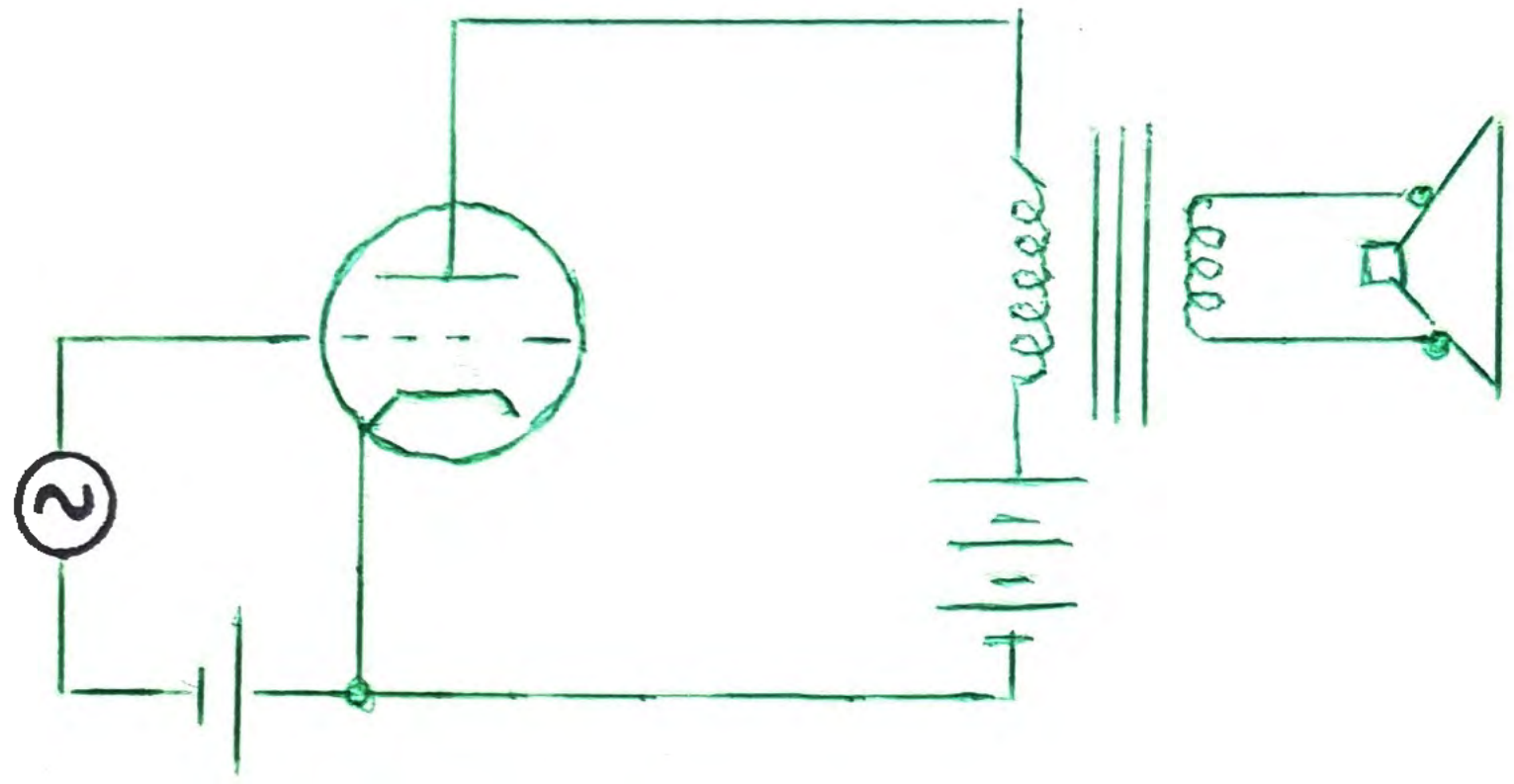
Esta recta recibe el nombre de RECTA ESTÁTICA DE CARGA.

En estas condiciones la intensidad a través del triodo es de 3 mA.



Cuando aplicamos una tensión continua a la rejilla del triodo, la recta de carga es una perpendicular al punto de V_p considerado. La llamamos recta estática de carga. Cuando además de la tensión continua aplicamos una tensión alterna a la rejilla del triodo, la tensión e intensidad de carga variarán a tenor de las variaciones de V_g. Obtenemos la recta dinámica de carga que pasa por el punto de trabajo.

Suponga ahora que aplica una tensión alterna a la rejilla del triodo, tensión que se sumará a la continua que proporciona la batería de polarización. Esto quiere decir que la corriente de placa variará por encima y por debajo de 3 mA, pudiendo considerarse que el circuito de placa (en el que hemos intercalado el primario del transformador de salida a modo de resistencia de carga) queda recorrido no sólo por una corriente de 3 mA (componente continua), sino también por una componente alterna cuyo valor depende de la tensión alterna aplicada a la rejilla.



Con este montaje, el circuito de placa queda recorrido por una componente continua y una componente alterna.

Pero la bobina del primario, frente a la componente alterna de la corriente de placa, se comporta como una resistencia de 17.500 Ω, puesto que hemos calculado el índice de transformación *n* para que así fuese para los 8 Ω de impedancia del altavoz. La componente alterna se encuentra con una resistencia de carga que no es cero, como para la componente continua, sino de 17.500 Ω. La recta de carga correspondiente ya no será una vertical, sino una inclinada que recibe el nombre de RECTA DINÁMICA DE CARGA y que pasa por el punto de trabajo que antes hemos determinado ($V_p = 170$ V e $I_p = 3$ mA) mediante la recta estática de carga.

COMO SE TRAZA LA RECTA DINAMICA DE CARGA

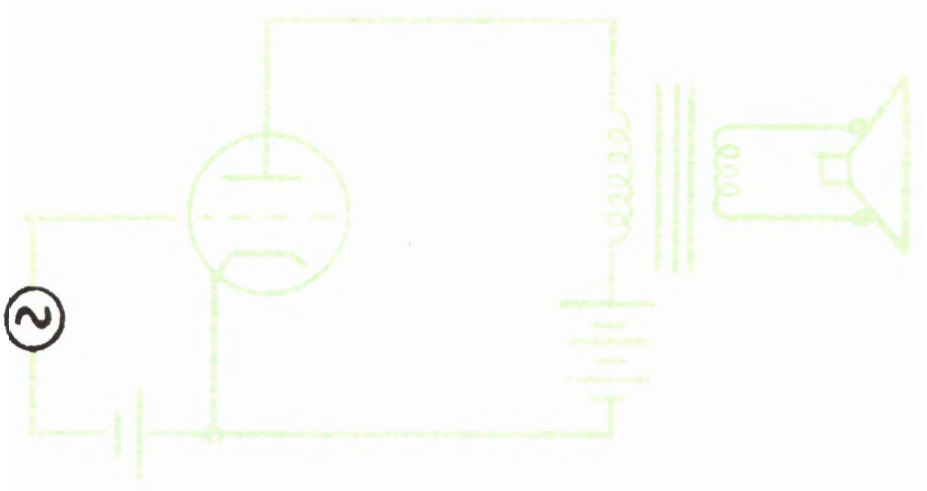
Para trazar la recta dinámica de carga, podemos suponer que al triodo no le hemos conectado un transformador, sino una verdadera resistencia de carga, de valor igual a la impedancia que presente el primario del transformador de salida, y para la cual trazaremos la recta de carga. En el caso que nos ocupa, esa resistencia sería de 17.500 Ω y la recta de carga correspondiente pasaría por los puntos $V_p = 170$ del eje de tensiones e $I_p = \frac{170}{17500} = 9'8$ mA del eje de intensidades.

Uniendo el punto $V_p = 170$ V con el punto $I_p = 9'8$ mA tendremos la recta de carga que corresponde a una resistencia cuyo valor óhmico es el mismo que el valor que debe tener la resistencia que opone el primario del transformador a la componente alterna de la corriente de placa.

Fíjese ahora: la recta dinámica de carga debe tener la misma inclinación que esa que acabamos de trazar, pero en cambio debe pasar por el punto de trabajo ($V_p = 170$ V, $I_p = 3$ mA), de forma que en definitiva será la paralela por ese punto.

Resumiendo: PARA HALLAR LA RECTA DINÁMICA DE CARGA, TRAZAREMOS LA RECTA DE CARGA QUE CORRESPONDERÍA A UNA RESISTENCIA IGUAL A LA IMPEDANCIA DEL PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR, Y ACTO SEGUIDO LA PARALELA A ESTA RECTA QUE PASE POR EL PUNTO DE TRABAJO.

Suponga ahora que aplica una tensión alterna a la rejilla del triodo, tensión que se sumará a la continua que proporciona la batería de polarización. Esto quiere decir que la corriente de placa variará por encima y por debajo de 3 mA, pudiendo considerarse que el circuito de placa (en el que hemos intercalado el primario del transformador de salida a modo de resistencia de carga) queda recorrido no sólo por una corriente de 3 mA (componente continua), sino también por una componente alterna cuyo valor depende de la tensión alterna aplicada a la rejilla.



Con este montaje, el circuito de placa queda recorrido por una componente continua y una componente alterna.

Pero la bobina del primario, frente a la componente alterna de la corriente de placa, se comporta como una resistencia de 17.500 Ω, puesto que hemos calculado el índice de transformación n para que así fuese para los 8 Ω de impedancia del altavoz. La componente alterna se encuentra con una resistencia de carga que no es cero, como para la componente continua, sino de 17.500 Ω. La recta de carga correspondiente ya no será una vertical, sino una inclinada que recibe el nombre de RECTA DINÁMICA DE CARGA y que pasa por el punto de trabajo que antes hemos determinado ($V_p = 170$ V e $I_p = 3$ mA) mediante la recta estática de carga.

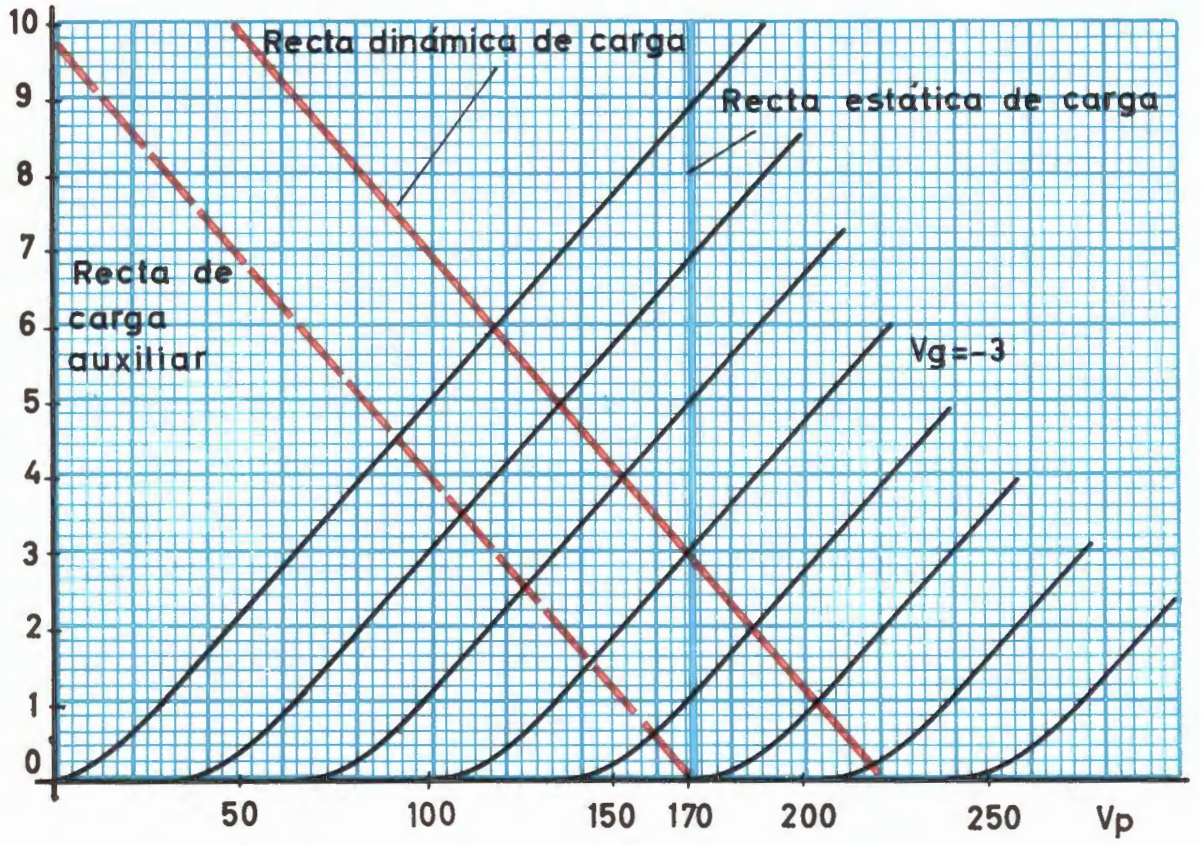
COMO SE TRAZA LA RECTA DINAMICA DE CARGA

Para trazar la recta dinámica de carga, podemos suponer que al triodo no le hemos conectado un transformador, sino una verdadera resistencia de carga, de valor igual a la impedancia que presente el primario del transformador de salida, y para la cual trazaremos la recta de carga. En el caso que nos ocupa, esa resistencia sería de 17.500 Ω y la recta de carga correspondiente pasaría por los puntos $V_p = 170$ del eje de tensiones e $I_p = \frac{170}{17500} = 9'8$ mA del eje de intensidades.

Uniendo el punto $V_p = 170$ V con el punto $I_p = 9'8$ mA tendremos la recta de carga que corresponde a una resistencia cuyo valor óhmico es el mismo que el valor que debe tener la resistencia que opone el primario del transformador a la componente alterna de la corriente de placa.

Fíjese ahora: la recta dinámica de carga debe tener la misma inclinación que esa que acabamos de trazar, pero en cambio debe pasar por el punto de trabajo ($V_p = 170$ V, $I_p = 3$ mA), de forma que en definitiva será la paralela por ese punto.

Resumiendo: PARA HALLAR LA RECTA DINÁMICA DE CARGA, TRAZAREMOS LA RECTA DE CARGA QUE CORRESPONDERÍA A UNA RESISTENCIA IGUAL A LA IMPEDANCIA DEL PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR, Y ACTO SEGUIDO LA PARALELA A ESTA RECTA QUE PASE POR EL PUNTO DE TRABAJO.

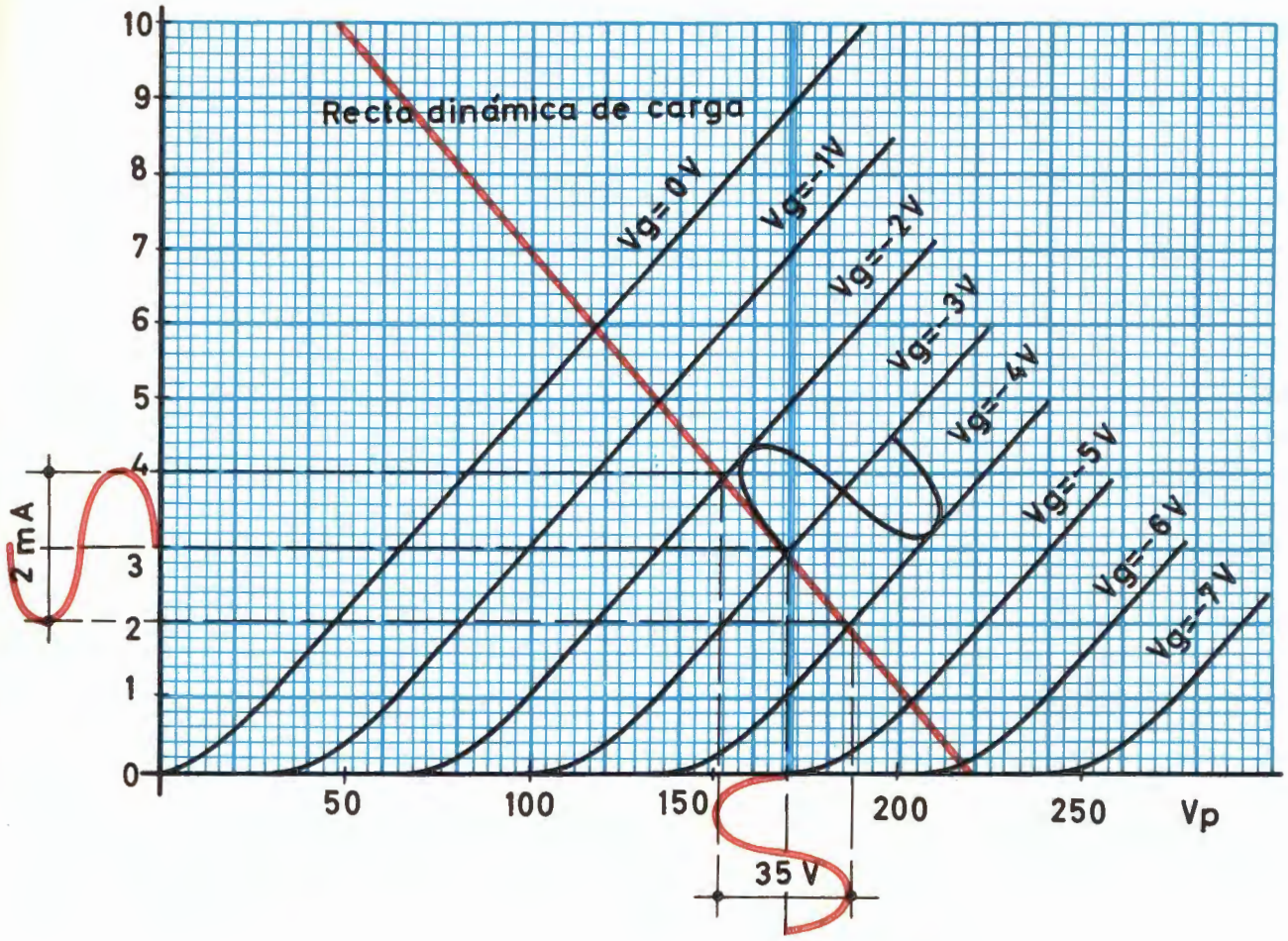


La recta dinámica de carga es la paralela a la recta de carga correspondiente a una resistencia igual a la impedancia del primario del transformador, y debe pasar por el punto de trabajo.

Lo que llevamos dicho queda referido a los amplificadores de potencia; pero todas las conclusiones a que hemos llegado, referentes a la recta dinámica de carga y a la recta estática de carga, deben tenerse en cuenta no sólo en el caso de un amplificador de potencia, sino también en todos los casos en que un triodo, u otro tipo de válvula, se emplee acoplada a un transformador.

Para calcular las variaciones de tensión e intensidad que el triodo aplica al primario del transformador, procederemos de igual forma a como se indicó en la lección 17, pero tomando por referencia la recta dinámica de carga.

Suponiendo, por ejemplo, que la tensión alterna aplicada a la rejilla es de 2 V de pico a pico, si la batería de polarización es $V_g = -3$ V, las características de placa con la recta dinámica de carga indican que la tensión alterna en el primario será de 35 V de pico a pico, y que la intensidad alterna será de 2 mA entre picos.



Cuando a la tensión de polarización de rejilla $V_g = -3$ V se le añade una tensión alterna de 2 V entre picos (variará de —2 V a —4 V), la tensión en el primario será de 35 V y la intensidad de 2 mA entre picos.

ESQUEMA FINAL

En la explicación teórica del cómo y porqué del acoplamiento por transformador entre válvula de salida y altavoz, hemos indicado las baterías B_c de polarización de rejilla y B_a del circuito de placa para conseguir el funcionamiento del triodo.

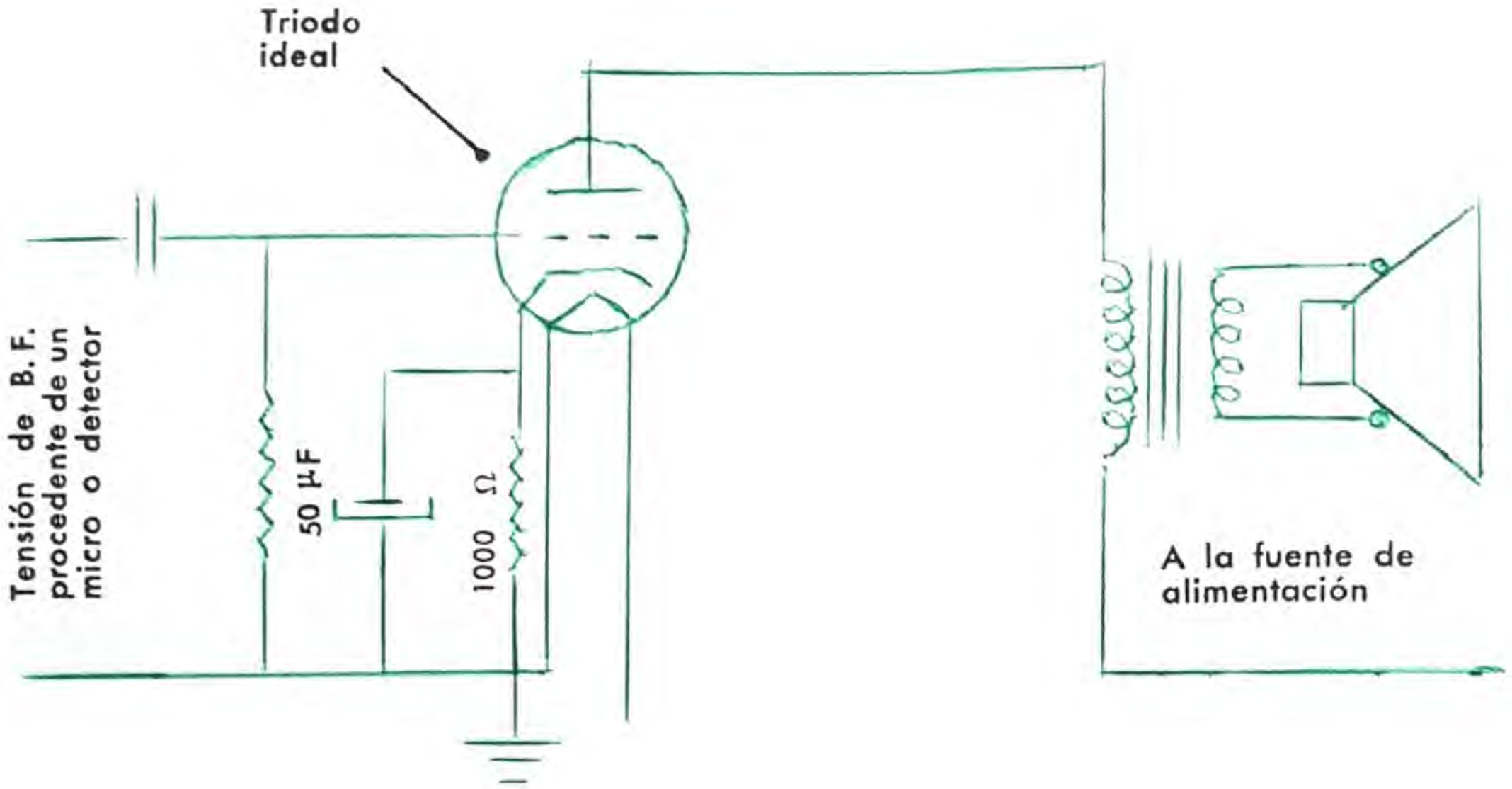
Sin embargo, sabemos que la primera batería puede sustituirse por un grupo RC conectado al cátodo, y que la segunda puede desaparecer ventajosamente sustituida por la fuente de alimentación.

Puesto que la tensión de polarización debe ser de —3 V (para no abandonar el ejemplo genérico que nos ha servido hasta ahora), con lo cual la componente continua de la intensidad de placa es de 3 mA (0'003 A), la resistencia del grupo RC deberá tener un valor de:

$$R = \frac{3\ V}{0'003\ A} = 1000\ \Omega$$

El condensador puede ser de unos 50 μF.

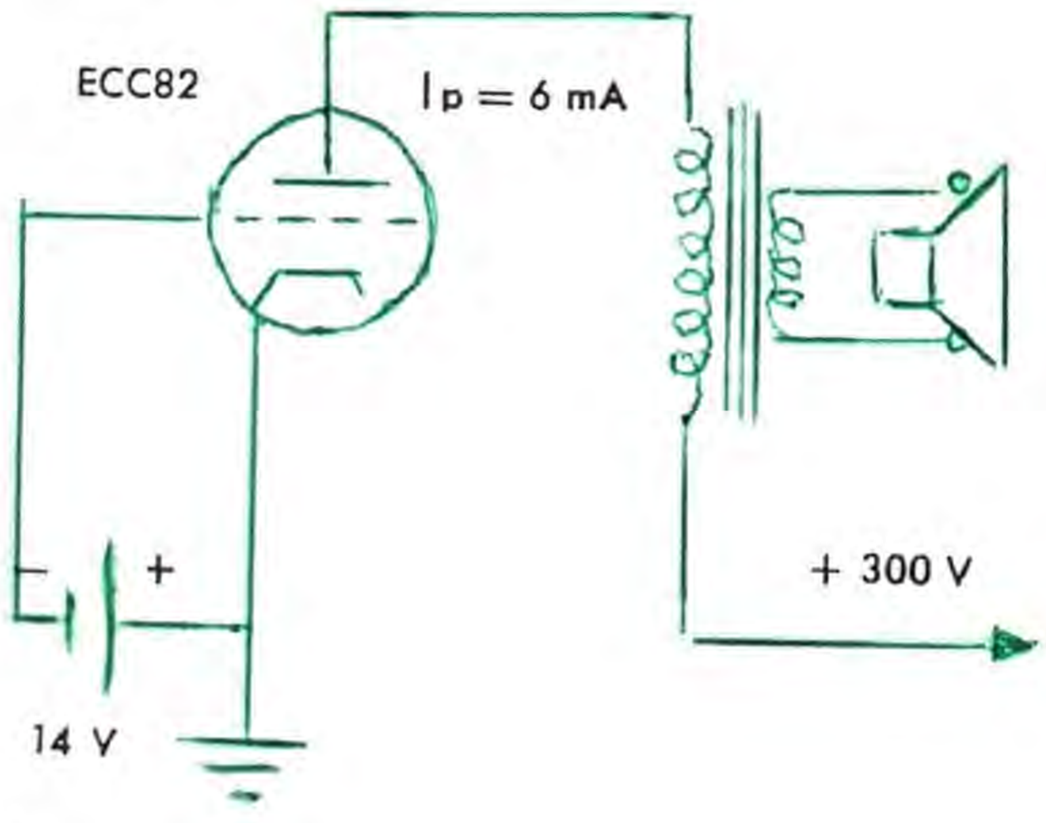
En definitiva, el montaje que con el *triodo ideal* de salida permite obtener la *máxima potencia* sonora por cada voltio eficaz aplicado a la entrada, será el que ilustra este comentario.



Esquema del montaje que permite obtener la máxima potencia sonora con un altavoz acoplado por transformador.

UN CASO PRACTICO

Finalizaremos esta lección aplicando los conocimientos adquiridos en ella al diseño de un paso de salida que nos permita escuchar las señales captadas por el receptor a reacción que fue tema de pasadas lecciones. Se trata, en definitiva, de acoplar un altavoz a uno de los dos triodos de que consta la ECC82, concretamente el triodo que nos sirvió para amplificar las señales antes de aplicarlas al auricular.



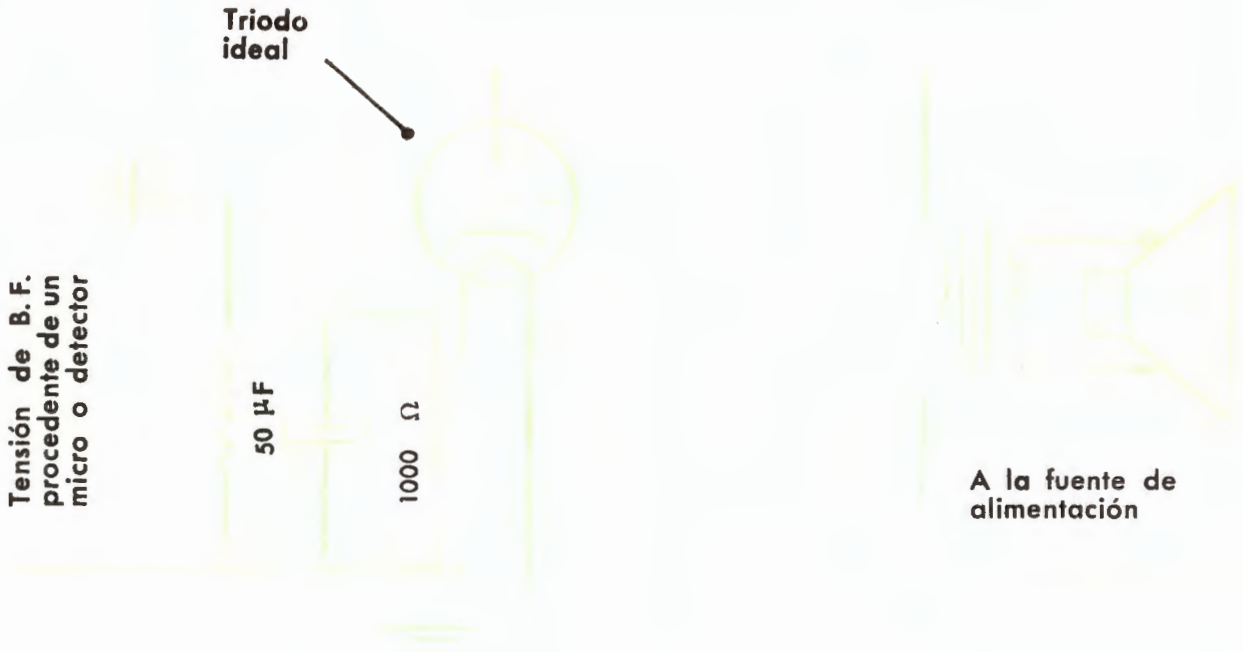
Necesitamos unos datos, desde luego:

Supongamos que la fuente de alimentación proporciona una tensión de 300 V y que la tensión de polarización de rejilla es de —14 V. Según eso, el esquema de nuestro paso de salida será el que aparece en el gráfico inmediato:

Observe que en este gráfico hemos indicado el valor de la intensidad de la corriente de placa ($I_p = 6$ mA). Habremos obtenido este dato a partir de las características de placa del doble triodo ECC82, sobre las cuales trazaremos la recta estática de carga perpendicular al punto $V_p = 300$ V. Esta recta corta la característica $V_g = -14$ V en el punto de trabajo ($V_p = 300$ V e $I_p = 6$ mA).

También en estas características podemos observar que cuando V_p varía de 275 V a 300 V (variación de 25 V) el valor de la intensidad de placa I_p pasa de 4 mA a 6 mA; varía en 2 mA. Esto quiere decir que la resistencia interna del triodo es de:

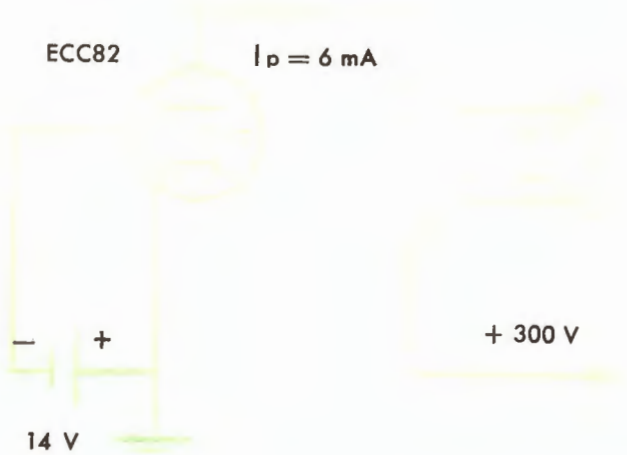
$$R_i = \frac{25}{0'002} = 12500\ \Omega$$



Esquema del montaje que permite obtener la máxima potencia sonora con un altavoz acoplado por transformador.

UN CASO PRACTICO

Finalizaremos esta lección aplicando los conocimientos adquiridos en ella al diseño de un paso de salida que nos permita escuchar las señales captadas por el receptor a reacción que fue tema de pasadas lecciones. Se trata, en definitiva, de acoplar un altavoz a uno de los dos triodos de que consta la ECC82, concretamente el triodo que nos sirvió para amplificar las señales antes de aplicarlas al auricular.



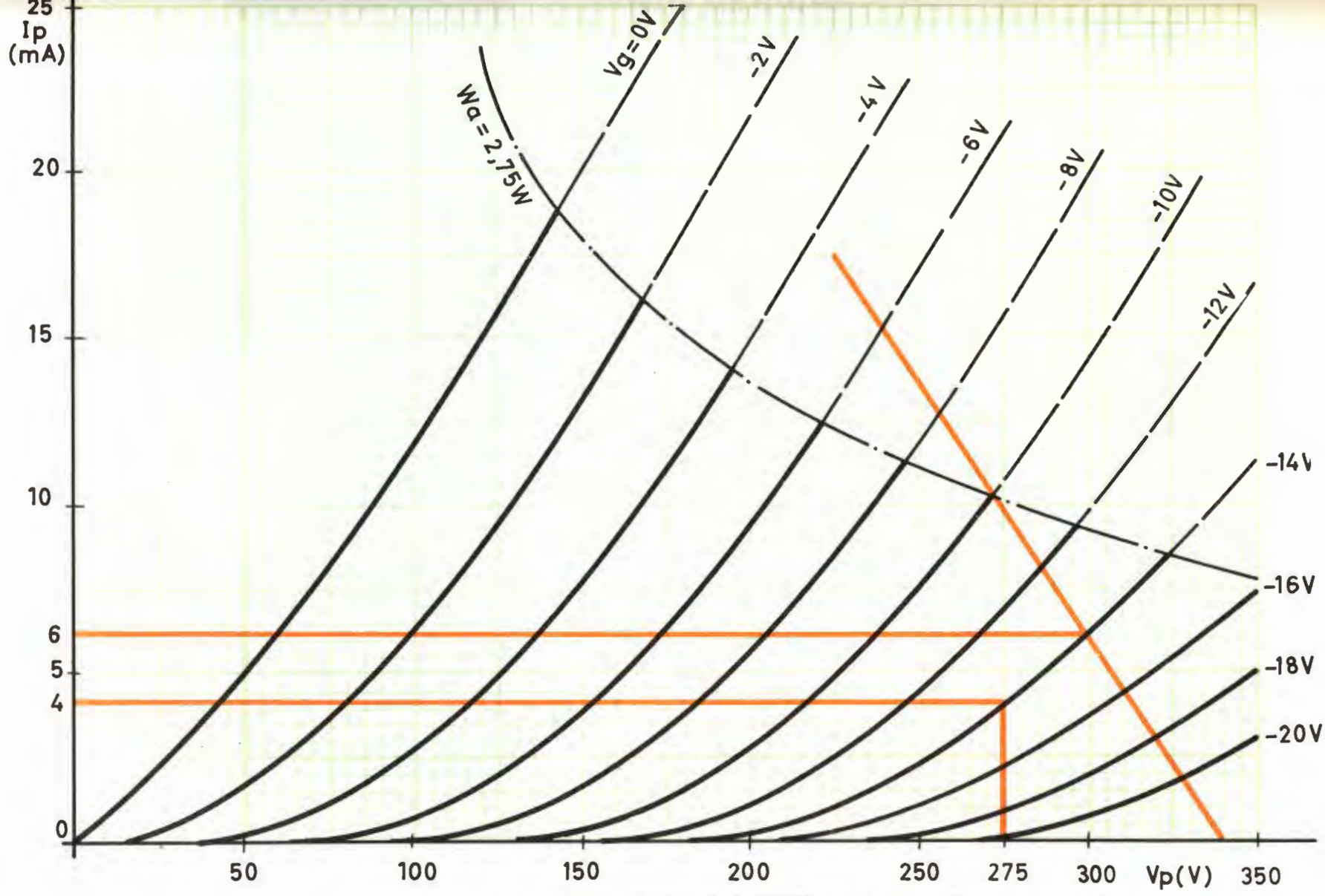
Necesitamos unos datos, desde luego:

Supongamos que la fuente de alimentación proporciona una tensión de 300 V y que la tensión de polarización de rejilla es de —14 V. Según eso, el esquema de nuestro paso de salida será el que aparece en el gráfico inmediato:

Observe que en este gráfico hemos indicado el valor de la intensidad de la corriente de placa ($I_p = 6$ mA). Habremos obtenido este dato a partir de las características de placa del doble triodo ECC82, sobre las cuales trazaremos la recta estática de carga perpendicular al punto $V_p = 300$ V. Esta recta corta la característica $V_g = -14$ V en el punto de trabajo ($V_p = 300$ V e $I_p = 6$ mA).

También en estas características podemos observar que cuando V_p varía de 275 V a 300 V (variación de 25 V) el valor de la intensidad de placa I_p pasa de 4 mA a 6 mA; varía en 2 mA. Esto quiere decir que la resistencia interna del triodo es de:

$$R_i = \frac{25}{0'002} = 12500\ \Omega$$



Características de placa de la ECC82 con la recta estática de carga y la recta dinámica de carga. Observamos que para $V_p = 300$ V y $V_s = -14$ V, el punto de trabajo corresponde a 6 mA. También podemos ver que para una variación de V_p de 275 a 300 V (25 V) I_p pasa de 4 mA a 6 mA (variación de 2 mA).

El altavoz, junto con un transformador adecuado, deberá presentar una impedancia de 12.500 Ω en el primario de dicho transformador.

En el comercio, desde luego, se encuentran altavoces con transformador incorporado, pero no es frecuente que su impedancia sea tan elevada. No es un grave inconveniente utilizar un altavoz con transformador de Z = 7.000 Ω, que es un valor de impedancia normal en el mercado, de modo que emplearemos uno de éstos.

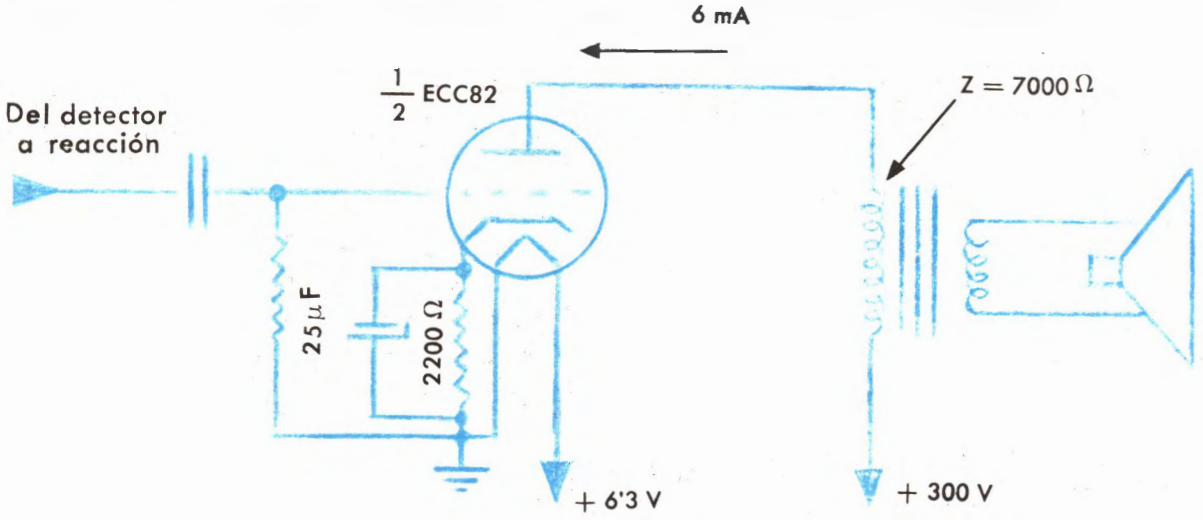
Para sustituir la batería de polarización por un grupo RC, deberemos emplear una resistencia de:

$$R = \frac{14}{0'006} = 2333\ \Omega$$

Este valor teórico no es tampoco un valor normal. Como valor más aproximado podemos adoptar el de 2.200 Ω, que sí se fabrica.

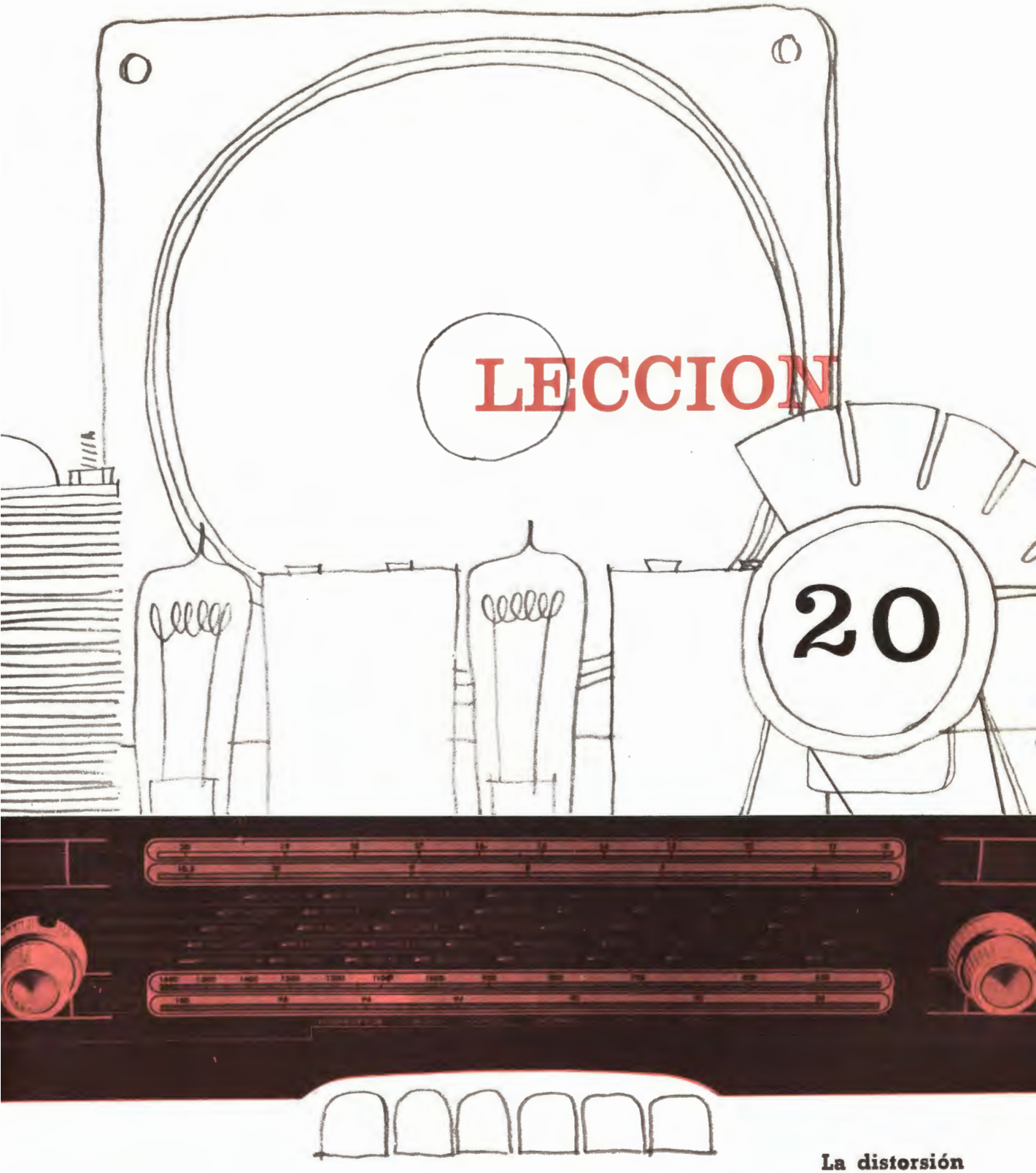
Para el condensador serán suficientes 25 μF

El esquema definitivo, pues, será el que cierra este capítulo de RADIOTECNIA.



Esquema del paso de salida para un receptor a reaccción con válvula doble triodo ECC82.

Cerramos esta lección de Radiotecnia mostrando el aspecto externo de un altavoz electrodinámico y otro autodinámico.



LECCION 20

La distorsión
Distorsión en los amplificadores de intensidad, de tensión y de potencia
Potencia de disipación de placa
Curva de máxima disipación
Montaje de un receptor con amplificador de B.F. (pentodo)

La distorsión. Estudio de la distorsión en los amplificadores de tensión, intensidad y potencia

¿Cuáles son los datos característicos a tener en cuenta para todo amplificador de sonido? Gracias a los conocimientos adquiridos en la lección anterior podemos contestar categóricamente que, en todo amplificador de sonido, debemos contar con los datos característicos siguientes: la potencia máxima de salida, la distorsión y la sensibilidad de potencia.

Hablemos de la distorsión.

Recuerde que POR DISTORSIÓN ENTENDÍAMOS LA DEFORMACIÓN QUE EL AMPLIFICADOR OCASIONA EN LAS SEÑALES QUE INYECTAMOS A SU ENTRADA. A la salida de un amplificador las señales tienen una mayor amplitud, como resultado inmediato de sus funciones específicas; pero este aumento en la amplitud de señales, necesario por definición, viene acompañado de otros fenómenos que ya no son necesarios, sino perjudiciales.

A la salida de un amplificador de sonido, en efecto, encontramos unas señales que, en comparación con las que aplicamos a la entrada, tienen, como nos proponemos, mayor amplitud, pero también *una forma algo distinta*. Esta deformación, este cambio de forma, es lo que en términos generales llamamos distorsión.

¿A qué es debido este fenómeno? ¿Por qué las señales que encontramos a la salida no tienen la misma forma que las señales inyectadas a la entrada?

Un amplificador de sonido está formado, en esencia, por unas cuantas válvulas termoiónicas y unos elementos de unión entre ellas, tales como transformadores, resistencias y condensadores. Todos y cada uno de estos elementos pueden ser parcialmente responsables de que las señales que encontramos a la salida del amplificador del que forman parte no sean una réplica fiel de las señales aplicadas a su entrada. En esta lección estudiaremos en particular la distorsión que pueden provocar las válvulas termoiónicas. Para que las señales que deseamos amplificar sufran la mínima deformación posible, es necesario elegir con mucho cuidado las válvulas que formarán parte del circuito amplificador. Las condiciones en que trabaja una válvula termoiónica son un dato importantísimo que debe decidir la conveniencia o inconveniencia de que esta válvula entre a formar parte del circuito.

Elegir con acierto los valores que deberá tener la tensión de polarización de rejilla, o la tensión de la batería de placa o, en su caso, la tensión que debe proporcionar la fuente de alimentación, es condición indispensable para obtener un amplificador de sonido cuya distorsión sea mínima.

Por otra parte, usted sabe, puesto que lo hemos dicho anteriormente, que resulta imposible obtener un amplificador de sonido cuya distorsión sea absolutamente nula; todo amplificador tendrá un determinado grado de distorsión.

El tema que empezamos, y cuya comprensión le será posible gracias a las muchas cosas sobre la ciencia electrónica que lleva estudiadas y aprendidas, trata del porqué de estas deformaciones y enseña la forma de reducirlas al mínimo posible.

LA DISTORSION EN LOS AMPLIFICADORES DE INTENSIDAD

La distorsión es un fenómeno común a todos los amplificadores, sean amplificadores de intensidad, de tensión o de potencia, y por ello analizaremos los tres casos.

De la misma manera que el estudio de un amplificador de intensidad resulta más sencillo, más fácil de comprender, que el de un amplificador de tensión, y éste a su vez resulta de interpreta-

ción más simple que un amplificador de potencia, también el estudio de la distorsión debida a cada uno de estos amplificadores sigue el mismo grado progresivo en cuanto a sus dificultades. Por tanto, es lógico que empecemos por hablar de la distorsión de un amplificador de intensidad.

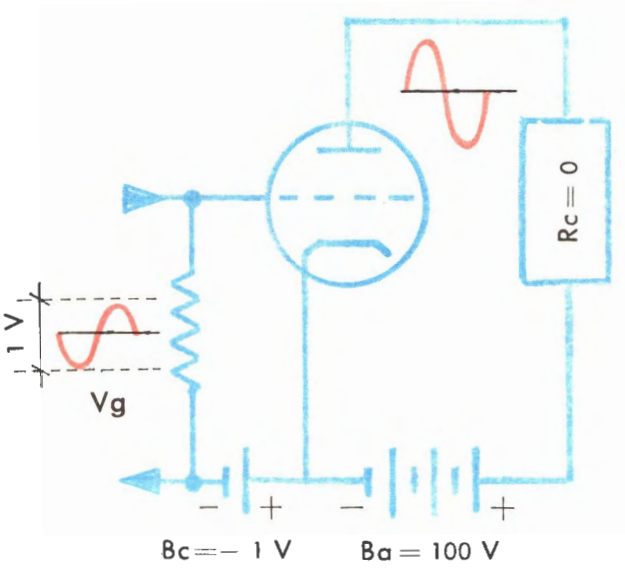
La distorsión de un amplificador de intensidad con triodo ideal

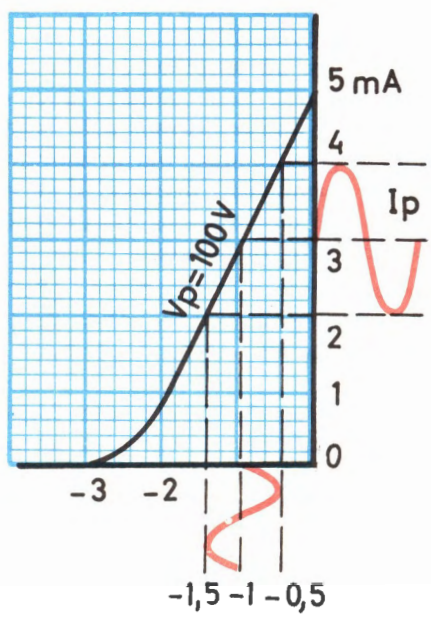
El triodo ideal no existe; lo sabemos sobradamente. Pero también sabemos que esta hipótesis puramente técnica nos ha servido, a través de varias lecciones, para llegar a comprender sin mucho esfuerzo todo fenómeno debido a la acción de un triodo termoiónico. En el caso que nos ocupa, no tenemos ninguna excepción. Es decir: al considerar que un amplificador de intensidad actúa gracias a un triodo ideal, tenemos una pauta segura para comprender a qué es debido el fenómeno de la distorsión que en él se produce y para poder aplicar esta idea consciente que nos habremos formado al caso, no ya de un triodo ideal, sino de un triodo real.

Supongamos, pues, que hemos montado un amplificador de intensidad con nuestro triodo ideal y que a su entrada aplicamos una corriente alterna cuya intensidad provoca una diferencia de potencia (alterna también) de 1 V de pico a pico entre los extremos de la resistencia conectada a la rejilla del triodo. Dicho de otra forma: la resistencia conectada a la rejilla del triodo queda recorrida por una intensidad alterna que provoca en ella una d.d.p. de 1 V entre picos.

Para la batería de placa elegimos una tensión $B_a = 100$ V; y para la batería de rejilla ensayamos dos valores: un valor para $B_c = -1$ V y otro valor $B_c = -2'5$ V.

Ahora, por favor, observe con atención la primera de las dos figuras que acompañan esta explicación. En la primera apreciamos con claridad, gracias a la característica de rejilla que hemos trazado al lado mismo del esquema del amplificador, que la intensidad a la salida I_p tiene la misma forma que la señal alterna aplicada a la rejilla del triodo. Hemos quedado en que la intensidad alterna que aplicamos a la entrada del amplificador produce una variación de 1 V entre picos en la resistencia conectada a la rejilla, lo cual quiere decir (como se advierte en el gráfico que comentamos) que la tensión de rejilla variará para $B_c = -1$ V desde $-0'5$ V hasta $-1'5$ V.

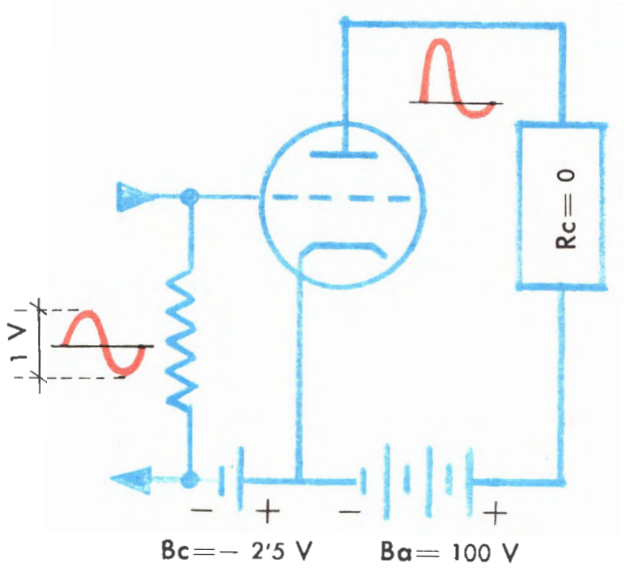


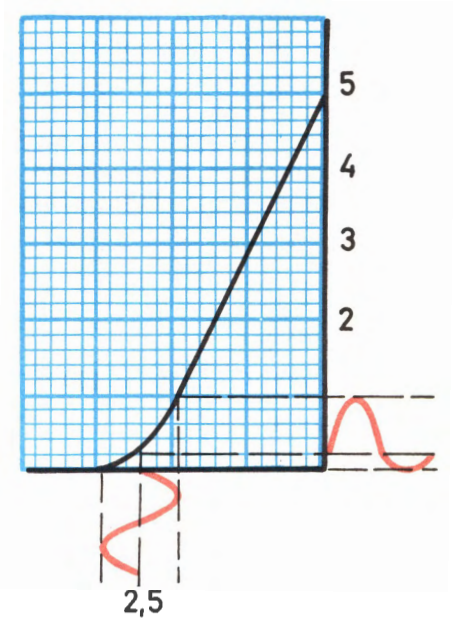


Con $B_c = -1$ V y $B_a = 100$ V, aplicando a la entrada una señal alterna de 1 V_{pp}, no hay distorsión.

En este caso, es evidente que nuestro amplificador de intensidad con triodo ideal no produciría ninguna distorsión. La simple inspección de la figura nos permite advertir que la ausencia de distorsión se debe al hecho de que las variaciones de la intensidad, y en consecuencia de la tensión aplicada a la rejilla del triodo, se producen siempre en la parte recta de la característica de rejilla.

Atienda ahora a la segunda de las figuras a que antes nos hemos referido. Tenemos en ella el mismo amplificador de intensidad, pero con la salvedad de que en esta ocasión la batería de polarización de rejilla es de —2'5 V. Puesto que la intensidad aplicada a la entrada debe provocar en los extremos de la resistencia de rejilla una variación entre picos de 1 V, al indicar gráficamente esta circunstancia sobre la característica del triodo, resulta que la señal aplicada a la entrada del amplificador varía en una zona que no corresponde a la parte recta de la curva, sino que corresponde a su codo inferior. La consecuencia inmediata de que estas variaciones se produzcan en el codo inferior de la característica puede verse claramente al observar la señal que obtenemos, representativa de la intensidad de placa I_p, o sea, de la forma de la intensidad que obtenemos a la salida del amplificador. La distorsión, la





Cuando B_c = —2'5 V, la señal a la salida quedará distorsionada.

deformación de esta curva en comparación con la señal de la entrada, es más que evidente.

Del comportamiento de nuestro triodo ideal, incorporado a un amplificador de intensidad, extraemos una primera conclusión:

PARA EVITAR LA DISTORSIÓN EN UN AMPLIFICADOR DE INTENSIDAD, ES NECESARIO QUE LAS VARIACIONES DE LA TENSIÓN DE REJILLA NO TENGAN LUGAR DENTRO DE LA ZONA CURVADA DE LAS CARACTERÍSTICAS.

Dicho de otra forma, es necesario que el valor de la tensión de la batería de polarización de rejilla sea tal que el punto que este valor determina sobre las características (recuerde que es el punto de trabajo) quede sobre la porción recta de la misma característica; y además resultará conveniente que este punto de trabajo quede lejos del codo inferior de la característica.

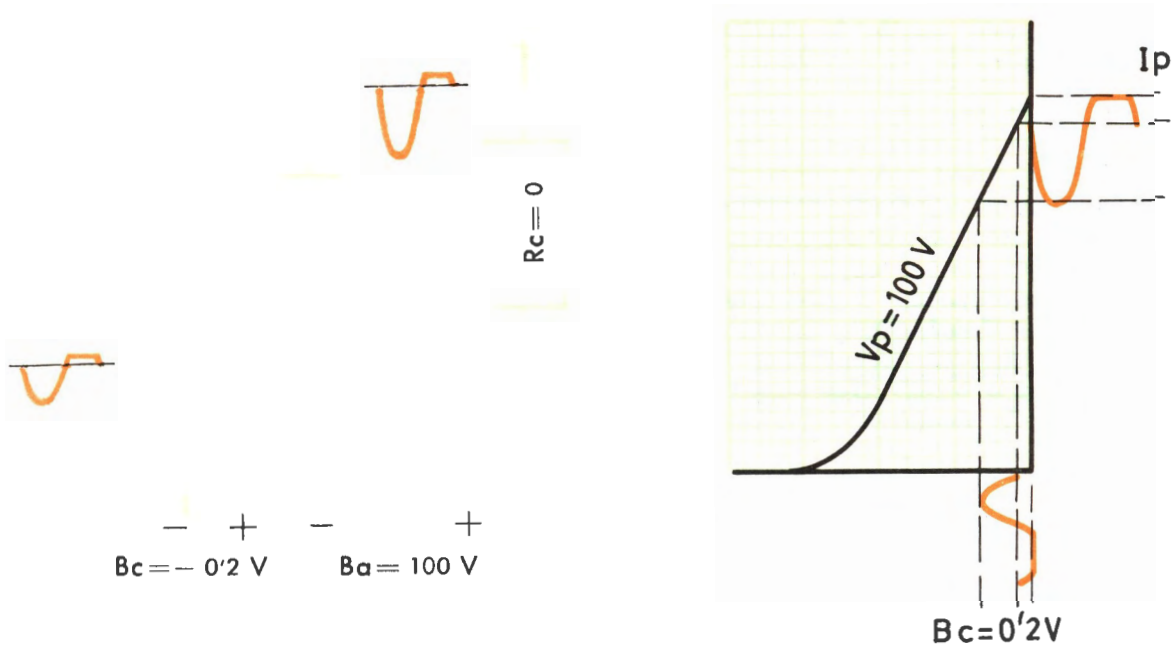
La primera solución que se nos ocurre para evitar que el punto de trabajo recaiga en la zona curvada es inmediata: hacer que la batería de polarización tenga un valor pequeño.

Ahora bien; para usted, que sabe cómo funciona un triodo termoiónico, resulta muy fácil comprender que elegir un valor muy pequeño para la batería de polarización de rejilla lleva aparejado el riesgo de que en los semiciclos positivos de la señal alterna que queremos amplificar se haga positiva la rejilla, con lo cual ella y cátodo que-

darán prácticamente en cortocircuito. Usted sabe que para un valor positivo del potencial de rejilla la corriente circula entre ella y el cátodo. También en este caso se producirá distorsión, ya que tan pronto como la rejilla se haya hecho positiva impedirá que varíe la tensión entre rejilla y cátodo, puesto que ambos electrodos, lo repetimos, quedan prácticamente cortocircuitados.

Añadimos una figura que ilustra esta circunstancia. Advierta que en esta figura hemos supuesto que la batería B_c es de 0'2 V. Sobre la característica dibujada al lado del amplificador correspondiente se hace evidente el hecho de que para una variación entre picos de 1 V los picos positivos a la entrada y a la salida no son ya tales picos, sino un tramo recto. Hay distorsión.

En muchísimas circunstancias, y en cosas que nada tienen que ver con la electrónica, se dice



Con un valor muy pequeño para B_c la rejilla se haría positiva en los semiciclos positivos de la señal de entrada. Habría distorsión.

que el término medio es el justo. Estamos ahora ante un caso que ratifica esta posición popular, puesto que si elegimos para la batería de polarización un valor elevado corremos el peligro de achatar los picos negativos de la señal; y si lo elegimos muy bajo entonces el peligro de aplastamiento está para los picos positivos de la misma señal. EN CONSECUENCIA, LA MEJOR SOLUCIÓN ES ELEGIR UNA TENSIÓN DE POLARIZACIÓN DE REJILLA TAL QUE EL PUNTO DE TRABAJO QUEDE EN EL CENTRO DE LA PORCIÓN RECTA DE LA CARACTERÍSTICA.

En el caso que nos ocupa — es decir, en un amplificador de intensidad con triodo ideal y para una tensión de placa $V_p = 100$ V — el punto de trabajo que no proporciona distorsión será el que obtenemos con una batería de polarización de rejilla $B_c = -1$ V.

Es digno de observar que cuando la polarización es insuficiente la señal queda deformada desde un principio en la propia rejilla; en cambio, cuando la polarización es excesiva la señal de la rejilla es correcta y la deformación aparece sólo en la corriente de placa.

Como caso extremo de polarización insuficiente podemos suponer aquel en el cual la polarización es nula; es decir, el caso en que no hay polarización por haberse suprimido la batería B_c. Entonces quedan radicalmente suprimidos los picos positivos de la señal, fenómeno que usted recordará por haberse estudiado al hablar del detector por rejilla (lección 14).

El detector por rejilla es un amplificador en el que la distorsión se introduce intencionadamente con el fin de conseguir la detección.

Máxima señal de salida sin distorsión

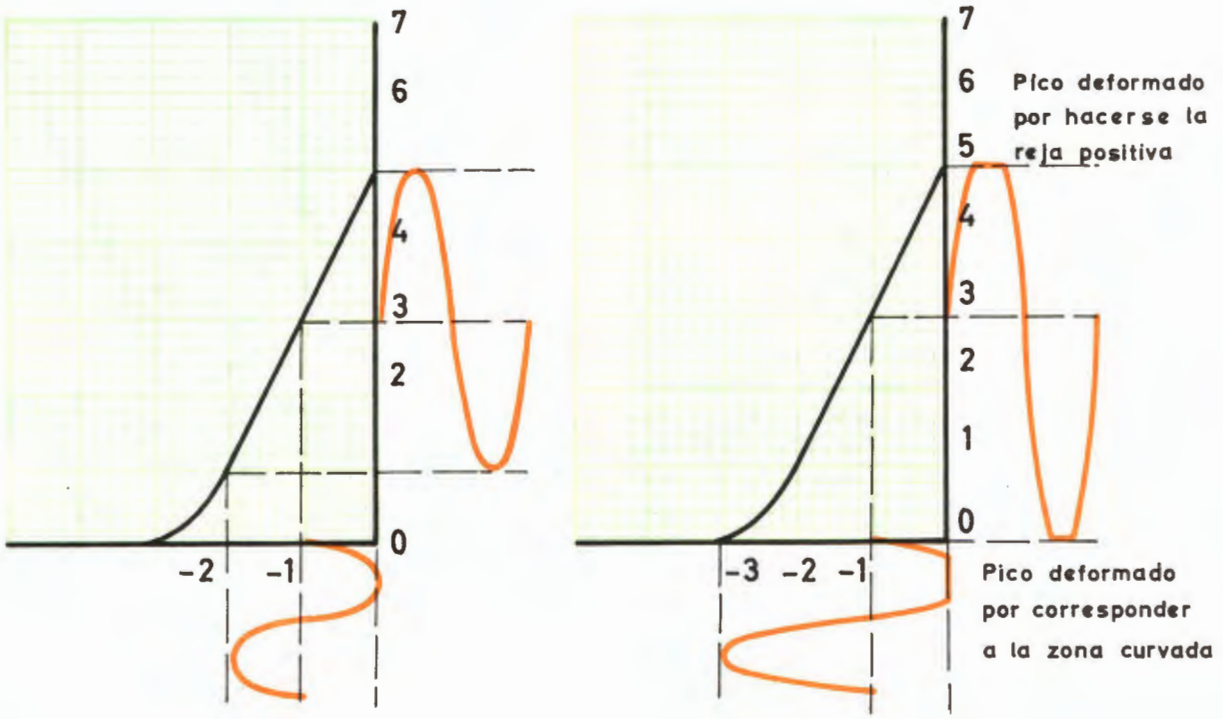
Siguiendo con nuestro empeño de obtener deducciones de la observación inteligente de las características de rejilla del triodo ideal una vez incorporado al amplificador de intensidad, veamos si somos capaces de deducir en qué condiciones obtendremos la máxima señal de salida sin que en ella se produzcan deformaciones.

Una vez se haya tenido en cuenta la necesidad de elegir el punto de trabajo en el centro de la porción recta de la característica y se haya obrado en consecuencia, nuestro triodo estará en condiciones de amplificar sin deformación cualquier señal cuyo valor máximo no sobrepase los 2 V de pico a pico. Observe que para una señal de esta amplitud (2 V entre picos) la rejilla no se hace positiva ni tiene valores que correspondan a la región curvada de la característica.

Sin embargo, trate de dibujar en la característica una señal de mayor amplitud y ocurrirán las dos cosas a la vez: fatalmente habrá distorsión.

También aquí hemos trazado el gráfico correspondiente tomando el caso de una señal de entrada cuyo valor entre picos es 4 V. Los picos negativos de la señal a la salida del amplificador quedarán deformados, por cuanto sus correspondientes en la señal de entrada caen dentro de la zona curvada de la característica. Los picos positivos quedarán también deformados, puesto que la rejilla no puede ser positiva sin entrar en cortocircuito con el cátodo del triodo.

Como última consecuencia de este análisis diremos que, una vez se haya elegido el punto de trabajo en el centro de la porción recta de la característica, conseguiremos que el triodo proporcione la mayor señal posible a la salida, sin que en ella se aprecie distorsión, cuando la señal a la entrada no sobrepase los límites que le señala la porción recta de la característica; a partir de estos límites siempre habrá distorsión. En nuestro caso, la máxima intensidad de salida que podemos obtener, o sea, la máxima intensidad alterna que podremos medir en el circuito de placa, es de 4 mA de pico a pico, correspondientes a 2 V de tensión alterna en la rejilla cuando la batería de polarización señala un potencial negativo de —1 V.



La máxima señal de salida sin distorsión será de 4 mA cuando $V_g = 2\ V_{pp}$ Para mayores señales de entrada siempre habrá distorsión.

Estas afirmaciones, obsérvelo, son verdaderas cuando el punto de trabajo está bien elegido; es decir, que está situado en el centro de la zona recta. Si tratásemos de elegir otro punto de trabajo la distorsión se produciría desde valores más pequeños en la tensión variable de rejilla; y si tan desplazado del centro de la porción recta quedase el punto de trabajo (—3 V, por ejemplo), la distorsión se produciría siempre para cualquier valor de señal de entrada.

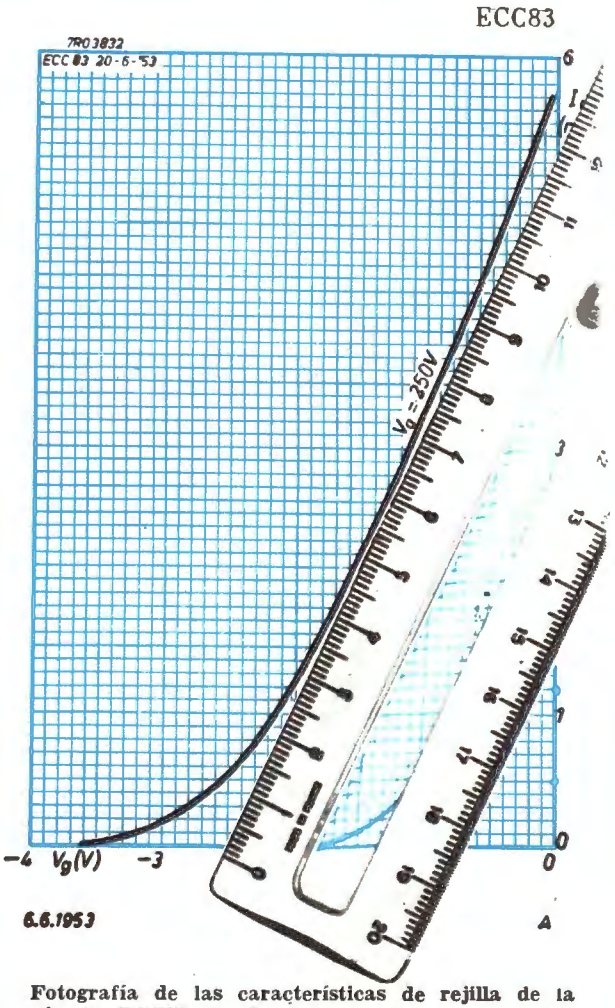
La distorsión en los amplificadores de intensidad con un triodo real

Cuando por primera vez aparecieron en nuestro *campo de operaciones* las curvas características de un triodo, le advertimos sobre la importancia que tales gráficos tienen para la correcta comprensión de los fenómenos electrónicos relacionados con las válvulas termoiónicas. Creemos que si mantenía alguna duda sobre la utilidad práctica de tales curvas, con estas lecciones dedicadas al estudio de la amplificación de los sonidos tales dudas habrán desaparecido por completo. Habrá observado que la simple observación de las características de rejilla del triodo ideal nos ha llevado, de conclusión en conclusión, hasta establecer un cuadro muy exacto de las condiciones óptimas para que el triodo proporcione la máxima intensidad a la salida sin que aparezcan distorsiones.

Seguimos con las características de rejilla; pero no ya con las que corresponden a un triodo ideal, sino que vamos a analizar qué ocurre en relación con la distorsión producida por un amplificador de intensidad cuando sustituimos el triodo ideal por un triodo real. Digamos en primer lugar que la cosa se complica, en el sentido de que un triodo real será siempre más propenso a dar señales distorsionadas que un triodo ideal.

La razón es simple: las características de un triodo real tienen la desventaja de que la que venimos llamando zona recta no es rigurosamente recta en ninguno de sus tramos. Advertimos que, en rigor, la característica de rejilla de un triodo real presenta una región muy curvada (el codo inferior de la característica) y una región que podemos denominar *bastante recta*. La llamamos así, bastante recta, para dar a entender que es un tramo *casi recto* que identificamos por la zona recta del triodo ideal.

Compruebe la verdad de lo que hemos dicho observando la característica de rejilla para $V_p =$ $= 250$ V de la válvula ECC83. En la reproducción de esta característica que le proporcionamos aparece una segunda línea realmente recta, que se ha obtenido adosando una regla a lo que comúnmente llamamos zona recta de la característica, la que, como así queda comprobado, no es rigurosamente recta.



Fotografía de las características de rejilla de la válvula ECC83, donde se demuestra que en ellas no hay una verdadera zona recta.

De todo lo dicho, resulta que, a pesar de haber elegido un punto de trabajo situado en el centro de la porción recta (o casi recta) de la característica, en un triodo real siempre se producirá distorsión, tanto mayor cuanto mayor sea la amplitud de las señales. En los triodos reales, pues, siempre se produce distorsión; pero cuando se tienen en cuenta las recomendaciones hechas en los párrafos anteriores, tal distorsión puede resultar imperceptible, sobre todo cuando las señales no son muy amplias.

COMO OBTENER MAYORES SEÑALES DE SALIDA SIN AUMENTAR LA DISTORSION

Volviendo de nuevo a nuestro triodo ideal en sus funciones de amplificador de intensidad, y pensando que la máxima intensidad de salida que puede proporcionar es 4 mA, cabe preguntarse qué ocurrirá si el dispositivo que conectamos al circuito de placa necesita mayor intensidad para funcionar correctamente.

Sabemos que, en las condiciones establecidas, una mayor intensidad de salida representa fatalmente obtener señales distorsionadas. Luego, para un dispositivo cuyo consumo sea superior a los 4 mA, nuestro amplificador precisará de alguna modificación que le permita obtener mayores señales de salida, sin que aumente la distorsión, por supuesto.

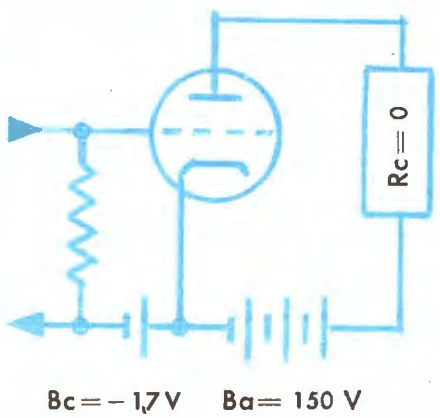
La solución está en aumentar la tensión de la batería de placa B_a, variando también la tensión de polarización a fin de que el punto de trabajo siga en el punto medio de la porción recta de la característica.

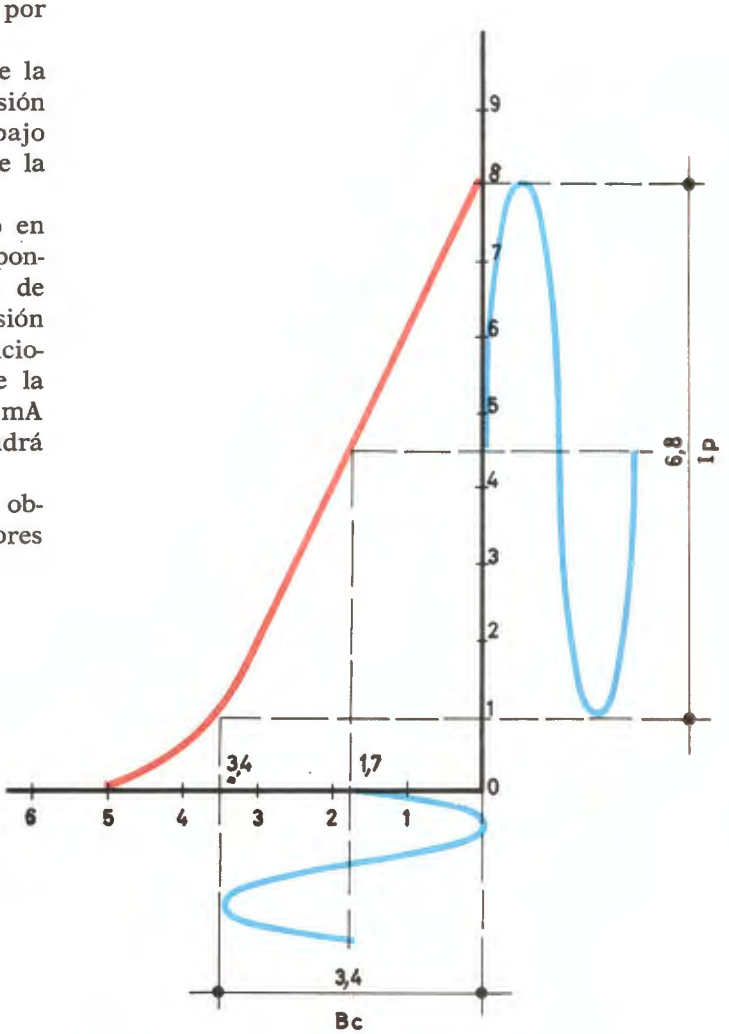
A título de ejemplo, consideremos el caso en que $B_a = 150$ V. En la característica correspondiente se advierte que, para tener el punto de trabajo en el centro de la zona recta, la tensión de rejilla debe ser de 1'7 V. En estas condiciones, la porción recta indica una variación de la intensidad de salida comprendida entre 1 mA y 7'8 mA. Es decir, la intensidad de placa tendrá un valor entre picos de 6'8 mA.

La conclusión que extraemos del resultado obtenido al introducir las modificaciones anteriores en el amplificador descrito es ésta:

Cuanto mayor sea la tensión de la batería de placa, mayor amplitud podrá tener la máxima señal de salida sin que sufra distorsión, puesto que para una mayor tensión en B_a mayor es también la porción recta de su característica de rejilla.

Pero ¡cuidado! No vaya a pensar que la tensión de placa puede aumentarse indefinidamente. Sería un grave error, por cuanto en toda válvula electrónica debemos contar con un límite de su





Aumentando la tensión de placa conseguimos mayores señales a la salida, siempre que mantengamos el punto de trabajo en el centro de la zona recta de la característica de rejilla correspondiente al valor elegido para B_a.

tensión de placa que si fuese rebasado representaría su inmediata destrucción. Hablaremos en seguida de este detalle.

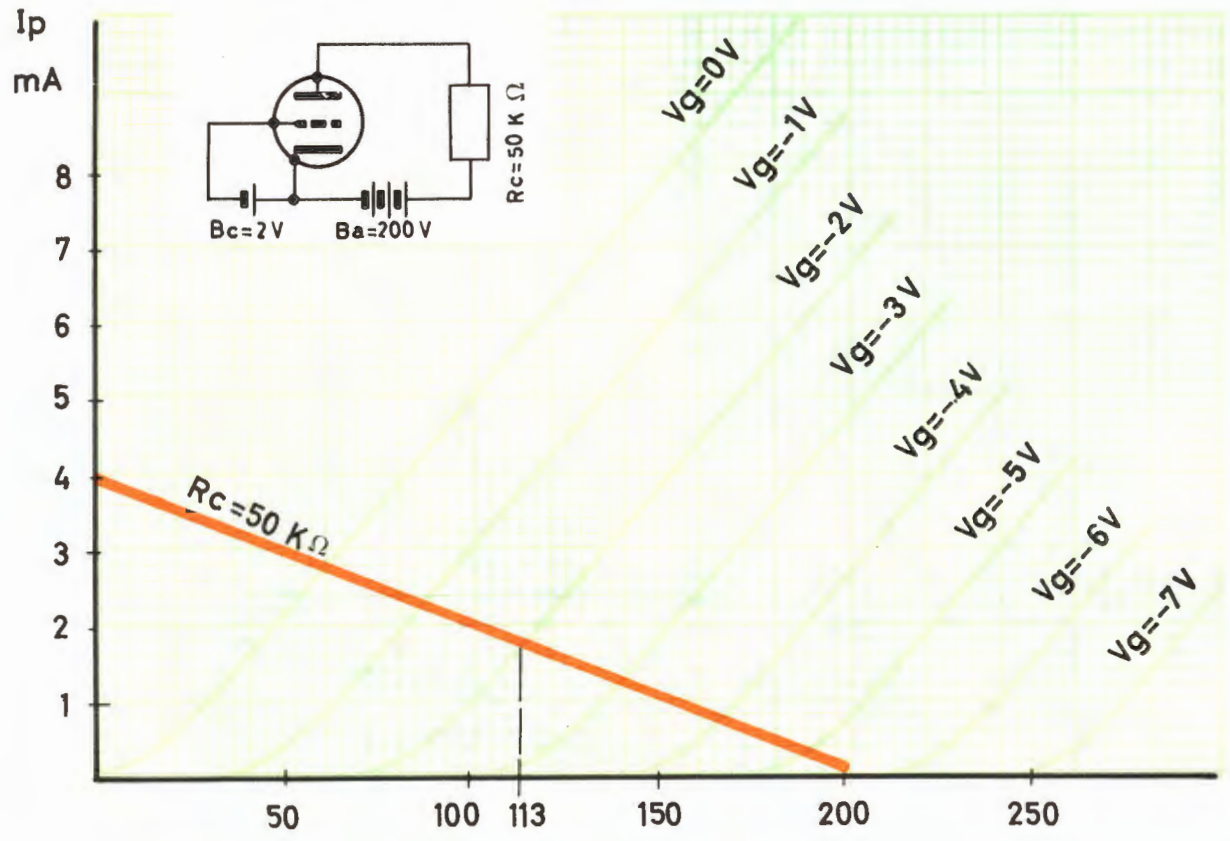
Tampoco debe caer en el error de pensar que con las nuevas condiciones hemos aumentado el poder amplificador de la válvula. Es cierto que se consigue mayor intensidad de salida; pero no es menos cierto que para ello hemos necesitado aplicar a la entrada una señal proporcionalmente mayor.

LA DISTORSION EN LOS AMPLIFICADORES DE TENSION Y DE POTENCIA

Determinar las causas que motivan distorsiones en los amplificadores de tensión y potencia ofrece una dificultad que no encontrábamos en los de intensidad: no podemos utilizar las características de rejilla, porque en ellas se determina el funcionamiento del triodo *suponiendo constante la tensión de placa*, cosa que en los amplificadores de tensión no sucede. Por contra, sabemos que durante el funcionamiento de un amplificador de tensión la que corresponde a la placa varía constantemente.

Pero esta circunstancia no es ningún problema sin solución. Al contrario, la solución es sencilla y consiste en trabajar sobre las características de placa y la recta de carga correspondiente, en vez de hacerlo sobre las características de rejilla.

Vamos a estudiar la cuestión, no sin antes advertir que si bien, para concretar ideas, nos moveremos en el supuesto de que trabajamos con un amplificador de tensión, lo que sigue es igualmente válido para los amplificadores de potencia.



Suponemos un amplificador de tensión con una resistencia de carga $R_c = 50$ KΩ, $B_a = 200$ V y $B_c = -2$ V. Cuando no hay señal a la entrada obtenemos un punto de trabajo en $V_p = 113$ V.

Sabemos que la característica de placa correspondiente a la tensión de polarización considerada y la recta de carga se cortan en el punto de trabajo. Sabemos también que si aplicamos una tensión alterna a la rejilla, este punto de trabajo se mueve (es un decir) sobre la recta de carga, indicando sobre el eje horizontal las variaciones que experimenta la tensión de placa.

Considere ahora un amplificador de tensión, con una resistencia de carga $R_c = 50$ KΩ y una tensión $B_a = 200$ V. La tensión de polarización es $V_g = -2$ V.

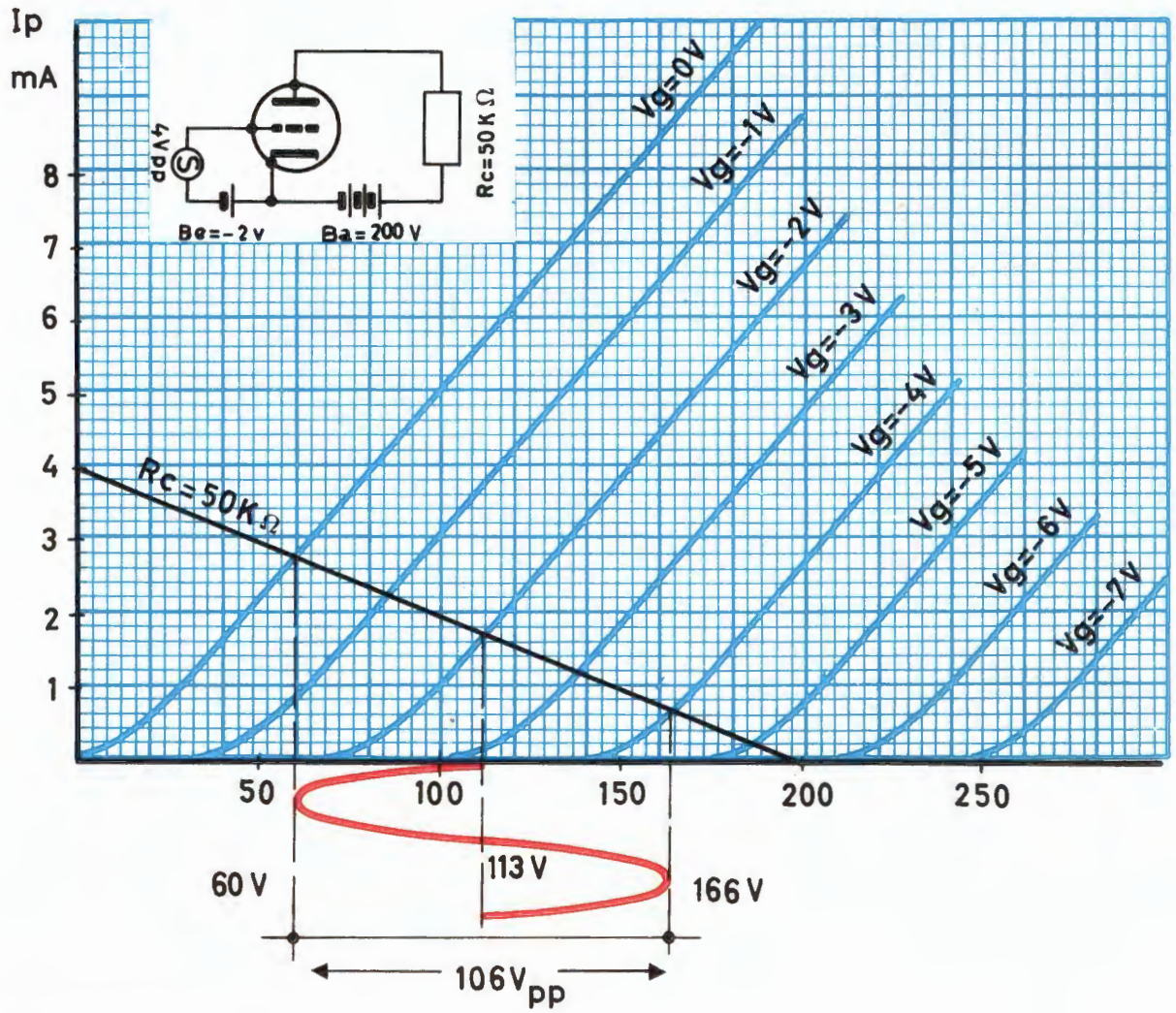
En estas condiciones, cuando no hay señal a la entrada obtenemos un punto de trabajo que, de acuerdo con la resistencia de carga $R_c = 50$ KΩ, está en la vertical correspondiente a $V_p = 113$ V. La intensidad de placa es 1'8 mA.

Imagine que a este amplificador le aplicamos una tensión alterna de 4 V_{pp} (cuatro voltios entre picos). La tensión en la rejilla variará desde $V_g = 0$ hasta $V_g = -4$ V. Es decir: el punto de trabajo oscilará a lo largo del segmento de la recta de carga comprendido entre las características $V_g = 0$ y $V_g = -4$ que, en el gráfico, hemos trazado en color.

Observe cómo para una tensión entre picos de 4 V en la tensión de rejilla, cuando $V_g = -2$ V y $V_p = 200$, con una resistencia de carga de 50 KΩ, obtenemos en la placa una componente alterna de 106 V_{pp}, oscilando de 60 V a 166 V.

Pues bien: ÉSTA ES LA MÁXIMA TENSIÓN DE SALIDA QUE PODEMOS OBTENER CON EL MONTAJE PROPUESTO SIN QUE EN LA SEÑAL SE APRECIE DISTORSIÓN.

Podemos afirmar que PARA EVITAR QUE LAS SEÑA-



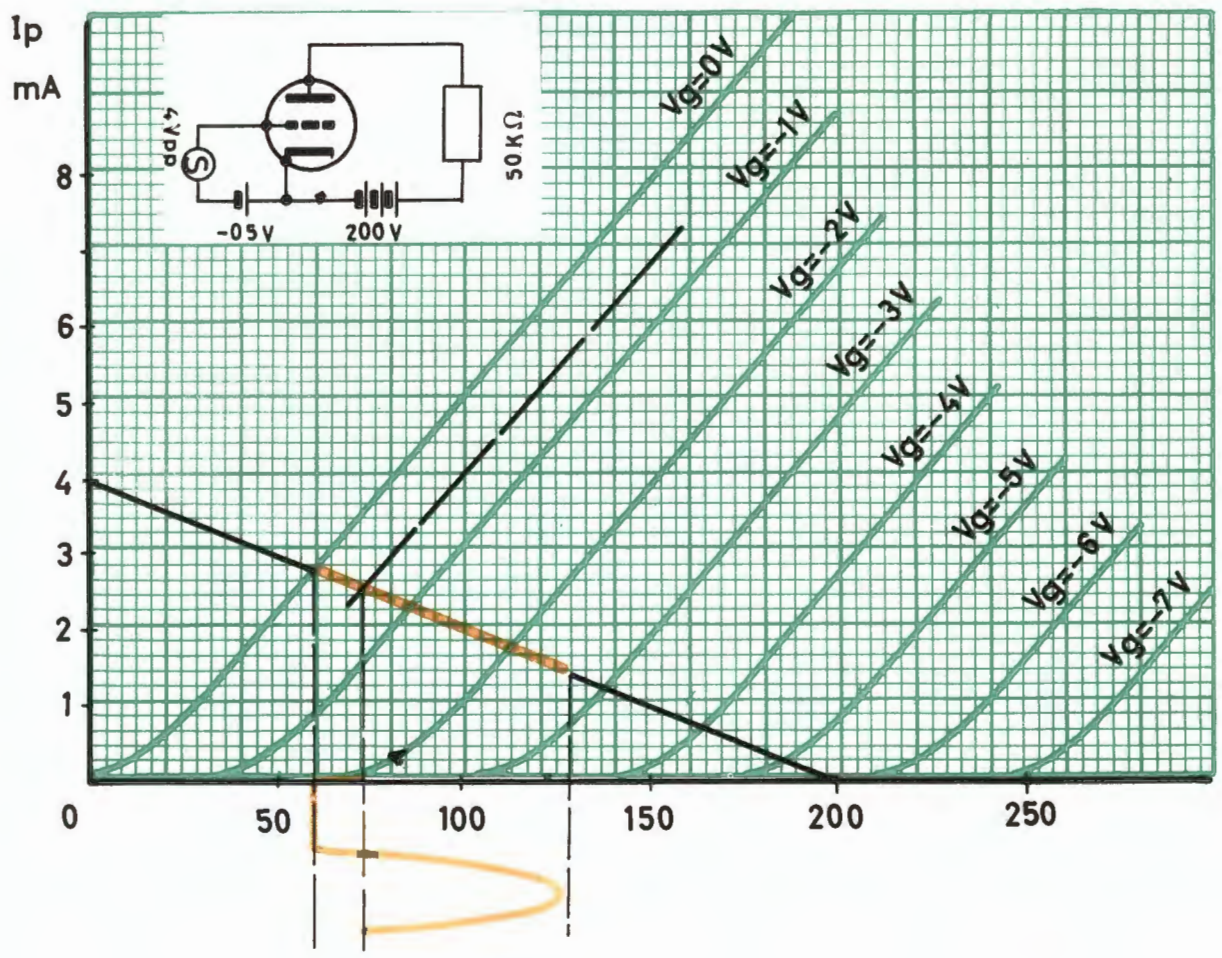
Cuando aplicamos al amplificador considerado una señal de 4 V_{pp}, la máxima tensión de salida sin distorsión es una señal de 106 V_{pp}, oscilando entre $V_p = 60$ V y $V_p = 166$ V.

LES A LA SALIDA DE UN AMPLIFICADOR DE TENSIÓN (O POTENCIA) SUFRAN DISTORSIÓN, EL PUNTO DE TRABAJO DEBE MOVERSE ÚNICAMENTE SOBRE LA PORCIÓN DE LA RECTA DE CARGA DONDE LAS DIVISIONES QUE SEÑALAN LAS DISTINTAS CARACTERÍSTICAS DE PLACA SON IGUALES.

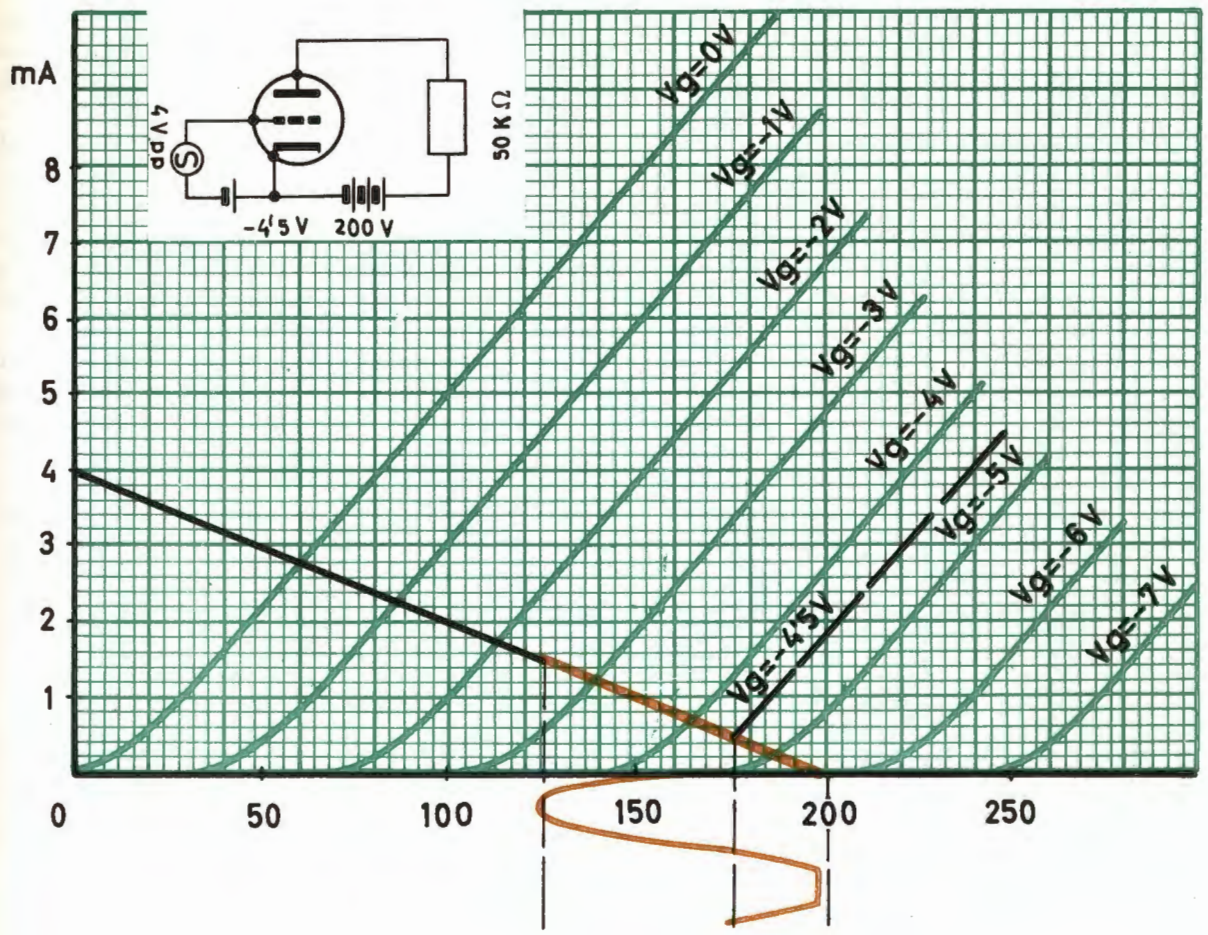
Vea que, en efecto, los tramos de la recta de carga del ejemplo que estudiamos comprendidos entre $V_g = 0$ y $V_g = -1$, entre $V_g = -1$ y $V_g = -2$, entre $V_g = -2$ y $V_g = -3$ y entre $V_g = -3$ y $V_g = -4$, son todos iguales. El punto de trabajo *en reposo* está en el punto medio de esta zona de divisiones iguales.

Por otra parte, el punto de trabajo no podrá desplazarse más a la izquierda de $V_g = 0$, ya que ello significaría que la rejilla se ha hecho positiva. Si el punto de trabajo se desplaza hacia la derecha del gráfico, sobrepasando $V_g = -4$, entra en una zona de la recta de carga, comprendida entre $V_g = -4$ y $V_g = -5$, más corta que las demás y que determinaría una distorsión en los semiciclos correspondientes (los positivos).

Supongamos que disminuimos la polarización, dejándola en $B_c = -5$ V. Si la señal aplicada al amplificador sigue siendo de 4 V_{pp}, la rejilla se hará positiva y los semiciclos negativos de la señal de salida quedarán *recortados*. Si, por lo contrario, aumentamos la polarización hasta hacer que $B_c = -4'5$ V, por ejemplo, resulta que durante parte de los semiciclos positivos queda cor-



Si la tensión de polarización disminuye demasiado, para la señal de 4 V_{pp} que tenemos a la entrada, los semiciclos negativos de la señal a la salida quedarán "recortados".



Si la tensión de polarización aumenta excesivamente serán los picos positivos de la señal de salida los que sufrirán distorsión.

tada la corriente en el triodo; la deformación se produce por el otro lado.

Podemos hacernos una pregunta similar a la que antes nos hemos hecho al referirnos a los amplificadores de intensidad: ¿Cómo obtener una mayor señal a la salida sin que se produzca distorsión?

Allí, en los amplificadores de intensidad, aumentábamos la tensión de placa. Entonces, ¿por qué no ensayamos la misma solución?

Digamos que, por un motivo determinado, no son suficientes los 106 V_{pp} que puede proporcionar el montaje. Mantenemos la misma resistencia de carga $R_c = 50$ KΩ.

Aumentemos la tensión de B_a hasta alcanzar los 300 V. Obtenemos una nueva recta de carga que pasa por el punto $V_p = 300$ V y por el punto...

$$I_p = \frac{300 \text{ V}}{50000 \ \Omega} = 6 \text{ mA}$$

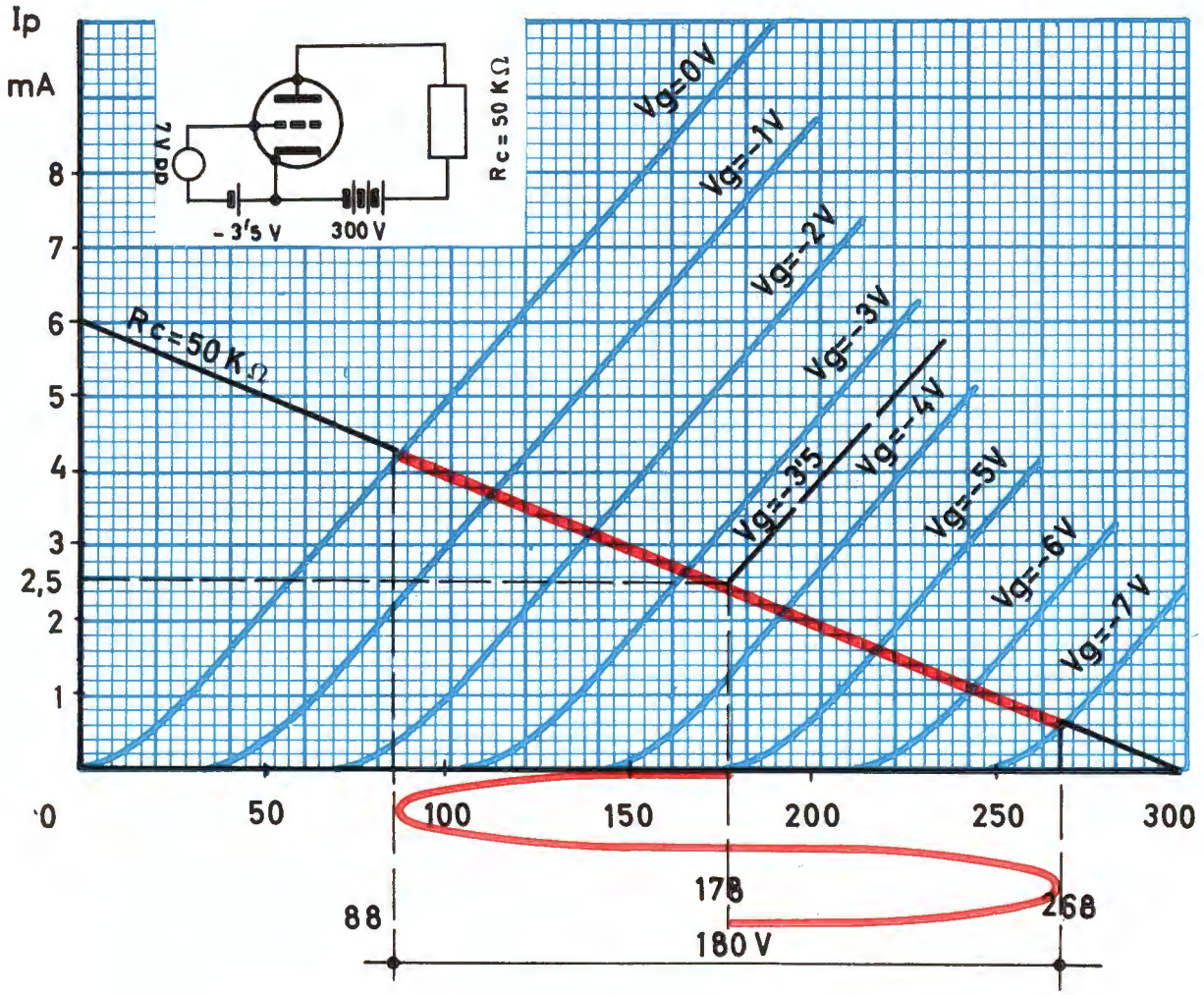
Trazada la recta de carga, apreciamos en seguida que su segmento *aprovechable* (valga la palabra) es considerablemente mayor que antes, puesto que se extiende desde $V_g = 0$ hasta $V_g = -7$ V. También puede observarse que mientras la tensión de rejilla varía entre estos valores extremos, la de placa lo hace entre 88 V y 268 V; es decir: la tensión de placa varía en un total de 180 V_{pp}. Y, además, las variaciones de V_p reproducen fielmente las variaciones de rejilla.

Hemos conseguido nuestro propósito: aumentar la señal de salida sin que aparezca distorsión.

Ahora, la tensión de polarización adecuada será $B_c = -3'5$ V.

Pero ya sabemos que no es posible rebasar un cierto límite para el valor de la tensión de B_a. No podemos aumentarle indefinidamente. Veamos los motivos que lo impiden.

Hemos dado una razón: que la válvula se estropearía. Pero creemos que no es suficiente; usted debe saber el porqué, puesto que está bien preparado para ello.



Aumentando la tensión de placa a 300 V obtendremos una mayor señal de salida sin distorsión (180 V_{pp}), siempre que la tensión de polarización sea de —3'5 V y la señal aplicada a la rejilla sea de 7 V_{pp}.

POTENCIA DE DISIPACION DE PLACA DE UNA VALVULA CURVA DE MAXIMA DISIPACION

Entre el ánodo (placa) y el cátodo de una válvula en funcionamiento existe una d.d.p. que llamamos V_p y por ella circula una intensidad I_p. En consecuencia, en el interior de la válvula se disipa una potencia eléctrica, cuyo valor será $V_p \times I_p$ y que aparece en forma de calor, como en los conductores.

Sin embargo, el fenómeno no se produce por causas idénticas, ya que en el caso de un conductor el calor es debido al roce de los electrones

libres con los átomos del material, cosa que en el interior de la válvula no puede ocurrir. En ella los electrones viajan en el vacío sin encontrar obstáculos a su marcha. Ocurre, empero, que esta falta de *freno* permite que la velocidad del electrón vaya en aumento hasta el momento en que se precipita sobre la placa. Es en el choque cuando la energía se convierte en calor; el continuo choque de los electrones contra la placa (ánodo) es la causa de que este calor vaya aumentando.

La placa llega a tener una temperatura superior a la del medio ambiente en que se encuentra y el calor va disipándose por radiación, tanto más cuanto mayor es la temperatura de la placa. A medida que aumenta la temperatura de la placa, aumenta la cantidad de calor disipado, hasta que se establece el equilibrio; llega un momento en que todo el calor generado en la placa por el choque de los electrones pasa al medio ambiente. La temperatura se estabiliza; no aumenta más. Es algo análogo a lo que ocurre con las resistencias: ¿recuerda?

Pero si el calor generado en la placa es mucho, ocurrirá que la temperatura a la que se produce el equilibrio entre el calor en la placa y el calor disipado, será excesivamente elevada; *la placa puede ponerse al rojo e incluso fundirse.*

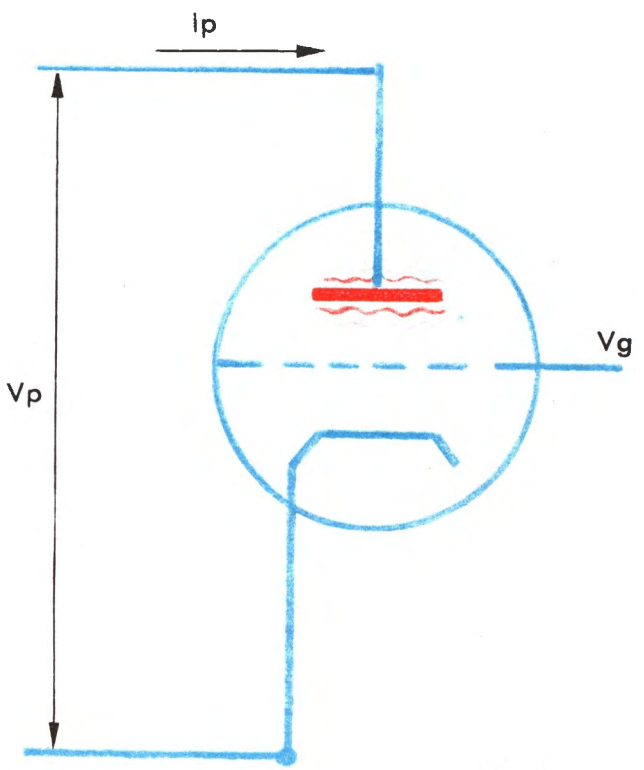
Es lógico que los fabricantes de válvulas termoiónicas indiquen en los manuales de características la máxima potencia eléctrica que puede disiparse en el interior de la válvula, ya que el calor que se produce depende, en esencia, de esta potencia, llamada POTENCIA MÁXIMA DE DISIPACIÓN, que representamos por W_a. En el doble triodo ECC82, por ejemplo, la potencia máxima de disipación, es $W_a = 2'75$ W, lo cual significa que el producto $V_p \times I_p$, en dicho triodo, no puede exceder este valor.

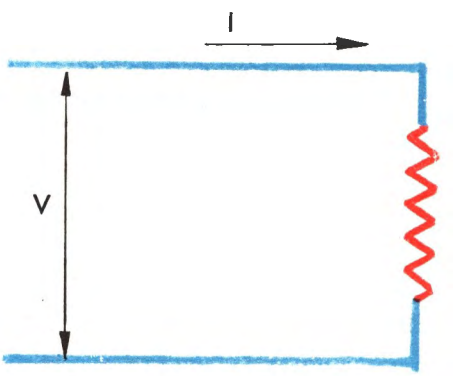
Cuando en la lección 9 estudiábamos este concepto aplicado a las resistencias vimos que, para una determinada resistencia, su potencia de disipación fijaba la máxima intensidad que podía circular por ella, y en virtud de la ley de Ohm podíamos determinar la máxima d.d.p. aplicable.

En las válvulas termoiónicas no ocurre lo mismo, puesto que no hay una relación determinada entre la tensión V_p y la intensidad I_p, a menos que se dé un valor determinado a la tensión de rejilla.

De ello resulta que no podremos hablar de la máxima tensión y máxima intensidad que puede soportar un triodo, sin la condición previa de haber fijado el valor de la tensión de rejilla.

Supongamos, a título de ejemplo, que nuestro





El calor que aparece en la resistencia es proporcional a V × I.

El calor que aparece en la placa del triodo es proporcional a $V_p \times I_p$. Pero no puede hablarse del valor máximo de V_p o de I_p a menos que fijemos el valor de V_g.

triodo ideal puede disipar una potencia máxima $W_a = 0'3$ vatios, que equivalen a 300 milivatios. Sabemos lo que significa: que $V_p \times I_p$ nunca podrá ser mayor que 300 milivatios. Como máximo podrá cumplirse esta igualdad: $V_p \times I_p = 300$ mW.

Si fuese $I_p = 5$ mA, el valor máximo de V_p sería de:

$$V_p = \frac{300 \text{ mW}}{5 \text{ mA}} = 60 \text{ V}$$

Para $I_p = 4$ mA, $V_p = 300/4 = 75$ V.

Es evidente que para cada valor de I_p encontraríamos el correspondiente para V_p, con lo cual obtendríamos una tabla similar a ésta:

mA	I_p	5	4	3	2	1
V	V_p	60	75	100	150	300

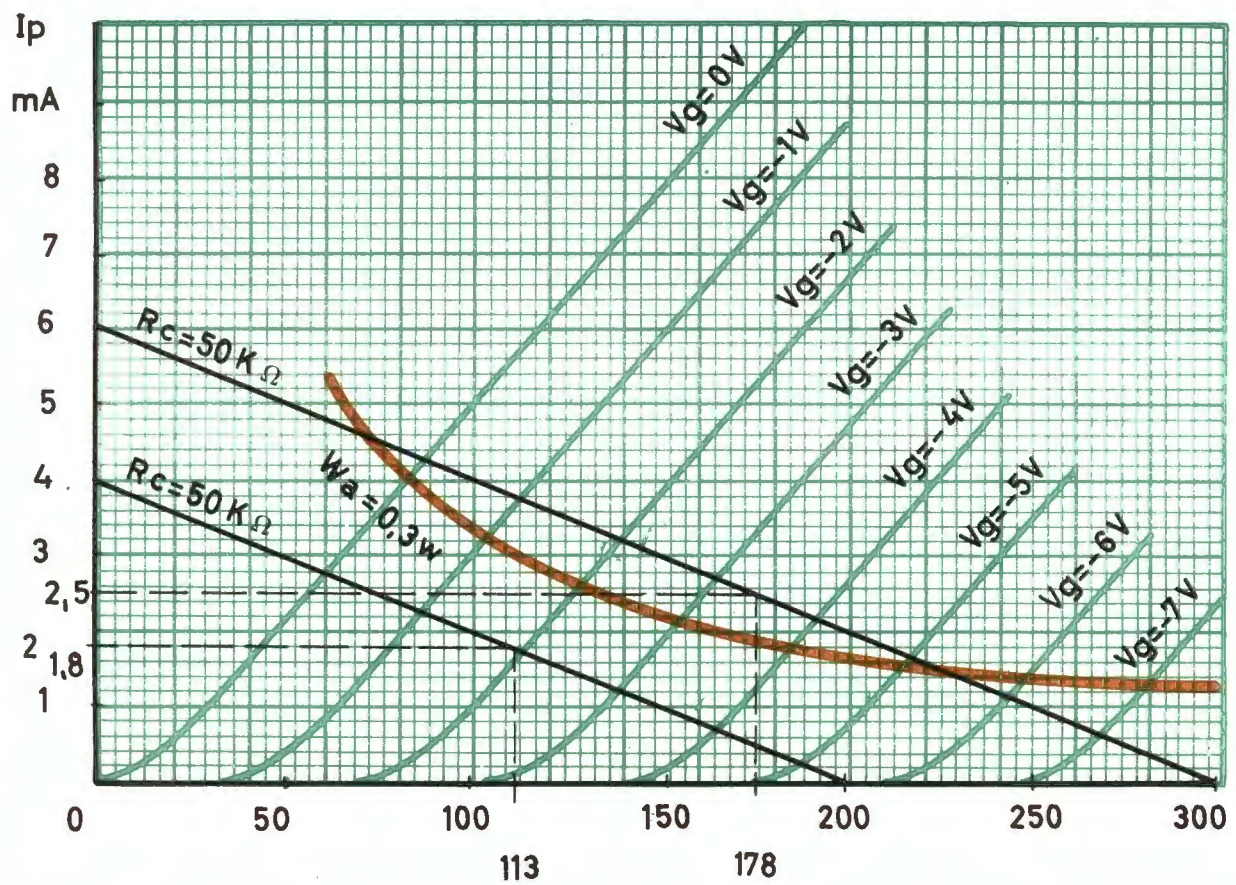
En ella hemos relacionado los valores de I_p y V_p para los cuales se cumple que $I_p \times V_p = 300$ mW.

Tomemos ahora el gráfico de las características de placa del triodo ideal y señalemos en él los puntos que determinan los pares de valores encontrados. Unamos luego estos puntos con una curva continua y habremos obtenido lo que se llama CURVA LÍMITE DE DISIPACIÓN O CURVA DE MÁXIMA DISIPACIÓN.

Todos los puntos situados por encima de esta curva corresponden a valores de I_p y V_p cuyo producto es superior a 300 mW, con los cuales es disparatado hacer trabajar la válvula.

Cuando la válvula trabaje en la zona situada por encima de la curva de máxima disipación, el riesgo de deterioro es inminente.

En el gráfico adjunto, donde aparecen las dos rectas de carga en que hemos trabajado, resulta evidente que al aumentar la batería de placa hasta hacer $B_a = 300$ V hemos cometido un desliz, dado que la recta de carga correspondiente está



Una vez trazada la curva de máxima disipación para $W_a = 0'3$ W, vemos que para $R_c = 50$ KΩ no podemos trabajar con una tensión $B_a = 300$ V, puesto que la recta de carga queda por encima de la curva de máxima disipación.

por encima de la curva de máxima disipación. La solución no es satisfactoria; lo sabemos ahora, y se nos confirma la importancia de conocer la existencia de una potencia máxima para cada válvula.

Fíjese en el gráfico que comentamos. Verá que para $R_c = 50$ KΩ y $B_a = 300$ V, el punto de trabajo corresponde a $V_p = 178$ V e $I_p = 2'5$ mA. Resulta que, en este punto, la potencia disipada sería:

$$W_a = 178 \times 2'5 = 445 \text{ mW}$$

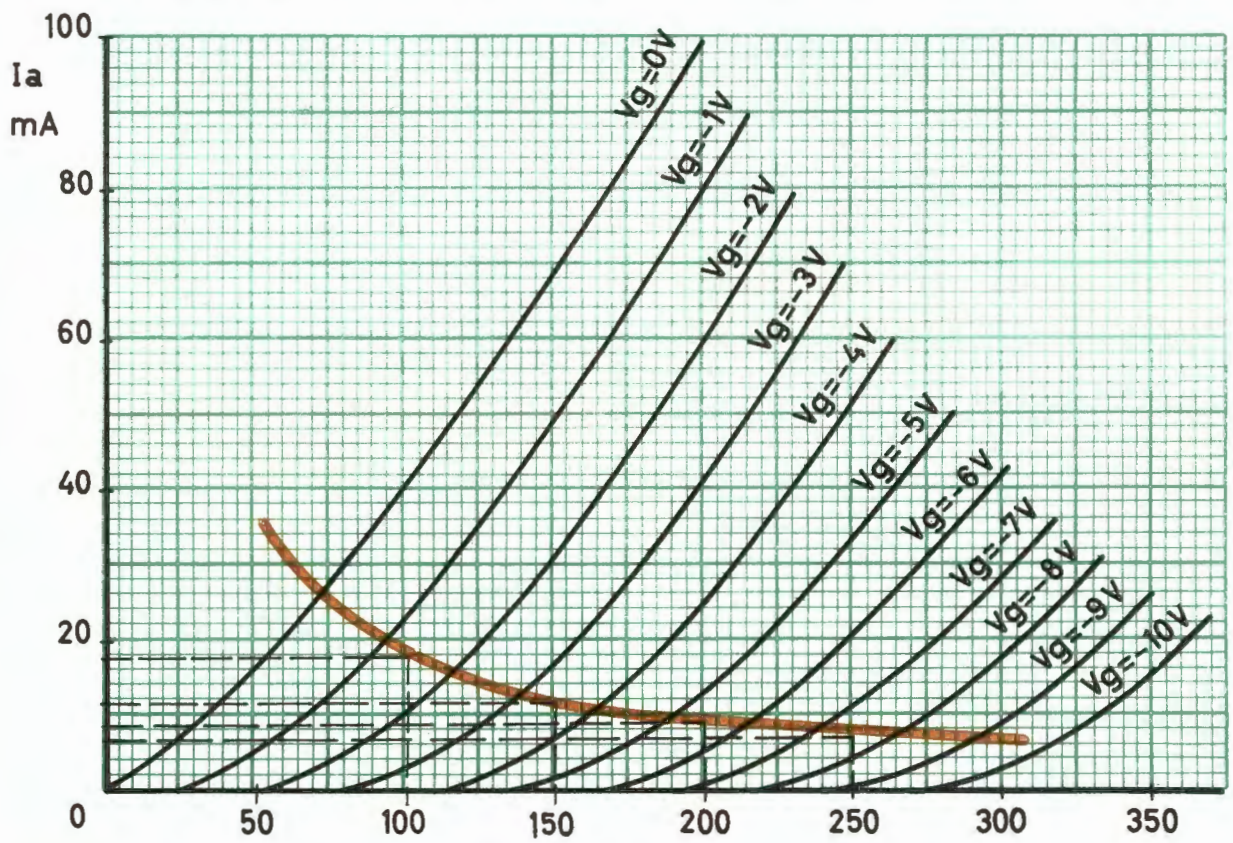
Tendríamos una disipación bastante superior a la que, según hemos establecido, permite nuestro triodo ideal. Podríamos despedirnos de nuestra válvula.

Si tiene a la vista las características de placa de la ECC82 que aparecieron en la lección anterior, podrá comprobar cómo en ellas estaba ya trazada la curva de máxima disipación. Tal vez le extrañe comprobar que en aquella ocasión no se eligió un punto de trabajo centrado dentro de la parte aprovechable de la recta de carga. Esta circunstancia, contraria a lo que venimos recomendando aquí, se debe a que, en aquel caso concreto, las señales procedentes del detector de rejilla no son excesivamente potentes, con lo cual desaparece el peligro de la distorsión.

COMO TRAZAR LA CURVA DE MAXIMA DISIPACION

Ahora ya puede comprender que al diseñar un amplificador es de vital importancia conocer la curva de máxima disipación de la válvula que pretendemos emplear; y como no siempre la proporcionan los fabricantes, sino que se limitan a dar la potencia de disipación, es del mayor interés saber cómo debe procederse para trazarla en cualquier caso que pueda presentarse. Pongámonos un ejemplo concreto:

En el *Manual de válvulas Miniwatt* se dan las características de placa del triodo ECC88, indicándose que la máxima potencia de disipación de placa es $W_a = 1'8$ W, o sea 1.800 mW. Tratemos de dibujar sobre dichas características la curva



Características de placa de la ECC88 sobre las que hemos trazado la curva de máxima disipación.

de máxima disipación correspondiente a este triodo.

Lo mejor es preparar una tabla donde anotaremos distintos valores de V_p. Por ejemplo, podemos tomar valores de cincuenta en cincuenta voltios:

V_p (voltios)	50	100	150	200	250	300	350
I_p (mA)							

Ahora calcularemos los valores de I_p correspondientes a cada valor de V_p, partiendo de la fórmula...

$$I_p = \frac{W_a}{V_p}$$

Así, para $V_p = 50$, tendremos:

$$I_p = \frac{1800}{50} = 36 \text{ mA}$$

Por el mismo sistema deducimos los demás valores de I_p, hasta completar la tabla propuesta:

V_p (voltios)	50	100	150	200	250	300	350
I_p (mA)	36	18	12	9	7'2	6	5'1

Cada uno de estos pares de valores representa un punto del gráfico de las características de placa, puntos que señalaremos en él y que uniremos con una curva continua. Habremos obtenido LA CURVA DE MÁXIMA DISIPACIÓN del triodo ECC88.

¡Y no olvide que todo lo dicho sobre amplificadores de tensión vale también para los amplificadores de potencia! Lo único que debe advertirse es que, en el caso de un amplificador de potencia unido al altavoz a través de un transformador, debe considerarse la *recta dinámica de carga*.

DANDO SOLUCIONES

A partir de aquí, sin embargo, debe saber distinguir entre amplificadores de tensión y amplificadores de potencia cuando se trate de buscar soluciones para el problema de la obtención de mayores señales de salida sin distorsión, soluciones que son distintas para unos y otros.

Cuando se trata de un amplificador de tensión hay dos soluciones

1. ELEGIR UNA RESISTENCIA DE CARGA MÁS ELEVADA.

Tracemos la curva de máxima disipación de nuestro triodo ideal y situemos la recta de carga para $R_c = 50$ KΩ y $B_a = 300$ V. Vemos que no nos es posible emplear una batería de placa de este valor, ya que la recta de carga queda por encima de la curva de máxima disipación.

Aumentemos el valor de R_c, haciendo que $R_c = 75$ KΩ.

Manteniendo $B_a = 300$ V, será:

$$I_p = \frac{300 \text{ V}}{75000} = 4 \text{ mA}$$

Tracemos la recta de carga para $R_c = 75$ KΩ y ¿qué observamos...? Pues que al aumentar la resistencia de carga, la recta correspondiente queda por debajo de la curva de máxima disipación. Ahora, podríamos trabajar con una batería $B_a = 300$ V y obtendríamos una tensión de salida de unos 196 V haciendo variar la tensión de rejilla entre $V_g = 0$ y $V_g = -7$.

2. ELEGIR UNA VÁLVULA MÁS ADECUADA

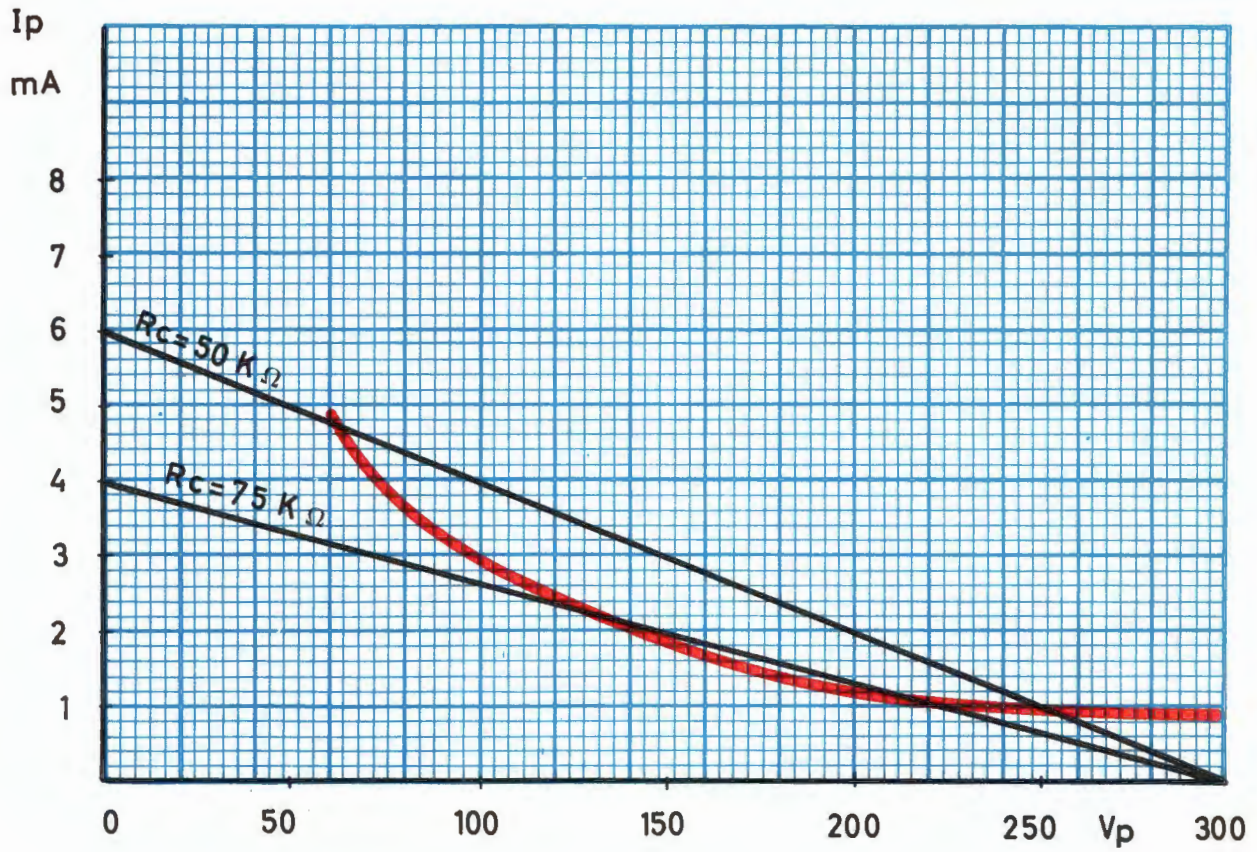
Será una válvula que permita mayores variaciones en la tensión de placa sin que aparezca distorsión. En el mercado existen muchos tipos entre los que elegir.

Cuando se trata de un amplificador de potencia

Para un amplificador de potencia, ¿valen las dos soluciones dadas?

Digamos que la primera no es válida, por la sencilla razón de que, *en los amplificadores de potencia, la resistencia de carga debe ser igual a la resistencia interna del triodo*, o debe tener al menos, según veremos luego, un valor prefijado. Esta condición nos impide modificarla.

Así, pues, una vez se ha elegido para B_a el máximo valor posible sin que llegue a cortar la curva de máxima disipación, si a pesar de todo la potencia obtenida es insuficiente no hay más solución que la segunda: elegir una válvula más adecuada.



Para que podamos trabajar con una batería de placa $B_a = 300$ V, deberemos escoger una resistencia de carga mayor. Por ejemplo $R_c = 75$ KΩ.

TRIODOS DE POTENCIA

Puesto que la limitación está en la potencia que puede disipar la placa, las válvulas más idóneas para un amplificador de potencia serán aquellas que puedan disipar grandes potencias sin excesivo calentamiento. Es decir: deberán ser válvulas con placa de gran superficie para disipar fácilmente el calor. Tendrán, como es natural, un cátodo y una rejilla proporcionales a la placa, capaz el cátodo de suministrar una corriente de gran intensidad.

Existen triodos especialmente concebidos para los pasos de salida de un amplificador de sonido con potencias de disipación del orden de 6 a 8 vatios; grandes potencias si las comparamos con los 2'7 de disipación de cada uno de los dos triodos de la ECC82.

Claro que la ganancia en potencia, en este caso, quiere decir un aumento considerable en el volumen del triodo, cosa que puede ver gráficamente en la fotografía, donde aparece una ECC82 al lado de un triodo de potencia.

Hoy en día, empero, la solución eficaz para obtener grandes potencias de salida se consigue de forma más elegante empleando válvulas especiales, cuyo tamaño es similar al de nuestra conocida ECC82. Se trata de los tetrodos y pentodos, que serán objeto de estudio en nuestra próxima lección.

Fotografía donde se compara el tamaño de un triodo de potencia con el de un triodo normal.

EN LOS AMPLIFICADORES DE POTENCIA NO SIEMPRE SE CUMPLE QUE $R_c = R_p$

Hemos repetido un montón de veces que *la máxima sensibilidad de potencia* de un amplificador se obtiene cuando la resistencia de carga R_c es igual a la resistencia interna o de placa R_p de la válvula empleada.

Pero recordemos lo que significa la expresión *máxima sensibilidad de potencia:* queremos decir que al ser $R_c = R_p$, la potencia que obtenemos *por cada voltio aplicado a la rejilla* es mayor que en el caso de ser R_c mayor que R_p o al revés.

Si suponemos, por ejemplo, que un triodo da 1 W de salida por cada voltio aplicado a la rejilla cuando $R_c = R_p$, con una resistencia de carga mayor ($R_c > R_p$) obtendremos una potencia menor que un vatio por cada voltio aplicado a la entrada. Supongamos, para concretar, que obtenemos sólo 1/2 W. Pero si continúa interesándonos que la potencia de salida siga siendo de 1 W, bastará con aplicar a la rejilla dos voltios en vez de uno. Problema concluido.

La misma potencia de salida que obtenemos con $R_c = R_p$, podemos obtenerla con $R_c > R_p$; pero, eso sí, a condición de aumentar la tensión aplicada a la rejilla. Podríamos decir que el vatio nos ha resultado más caro.

Estamos, pues, ante dos posibilidades.

Cuando nos interesa primordialmente obtener una potencia de salida lo más elevada posible empleando la mínima señal de entrada, estableceremos la condición $R_c = R_p$.

Pero si no sólo interesa el valor de la potencia de salida, sino que, además, exigimos *el mínimo de distorsión* posible, como ocurre con los amplificadores de sonido, puede darse el caso (y se da) de que el valor de la resistencia de carga más conveniente no sea el que la hace igual a R_p ($R_c = R_p$), sino que sea un valor distinto. Con ello deberemos aplicar mayores señales a la entrada para conseguir la potencia de salida que obteníamos con $R_c = R_p$; pero, en compensación, la distorsión será más pequeña.

Los fabricantes indican el valor de la resistencia de carga más adecuada para obtener una distorsión mínima.

A falta de este dato, puede aceptarse que para los triodos, en general, debe emplearse una resistencia de carga de valor igual al doble de la resistencia interna del mismo. Es decir: $R_c = 2\ R_p$.

El hecho de que no todos los valores de R_c sean igualmente adecuados para conseguir la máxima fidelidad del amplificador (mínima distorsión) se debe a lo que hemos comentado en esta misma lección: las características de los triodos reales no son rigurosamente rectas... ni paralelas entre sí.

En resumen: cuando en un amplificador de sonido el interés principal está en la obtención de la máxima *fidelidad* en las señales amplificadas, se sacrifica la sensibilidad de potencia en aras de dicha fidelidad de reproducción.

Pero advierta que la disminución de la sensibilidad de potencia, necesaria para aumentar la fidelidad del amplificador, no significa que necesariamente deba disminuir la máxima potencia de salida. Podremos obtenerla siempre que demos a la señal de entrada una mayor amplitud, cosa que, en general, no representa ningún problema. Si las señales de que disponemos para aplicar a la entrada del amplificador son demasiado débiles, las dirigiremos primero a un amplificador de tensión para que les dé la amplitud necesaria. De hecho esto es casi siempre necesario; y por ello los amplificadores de potencia suelen ir precedidos de uno o varios pasos de preamplificación de tensión.

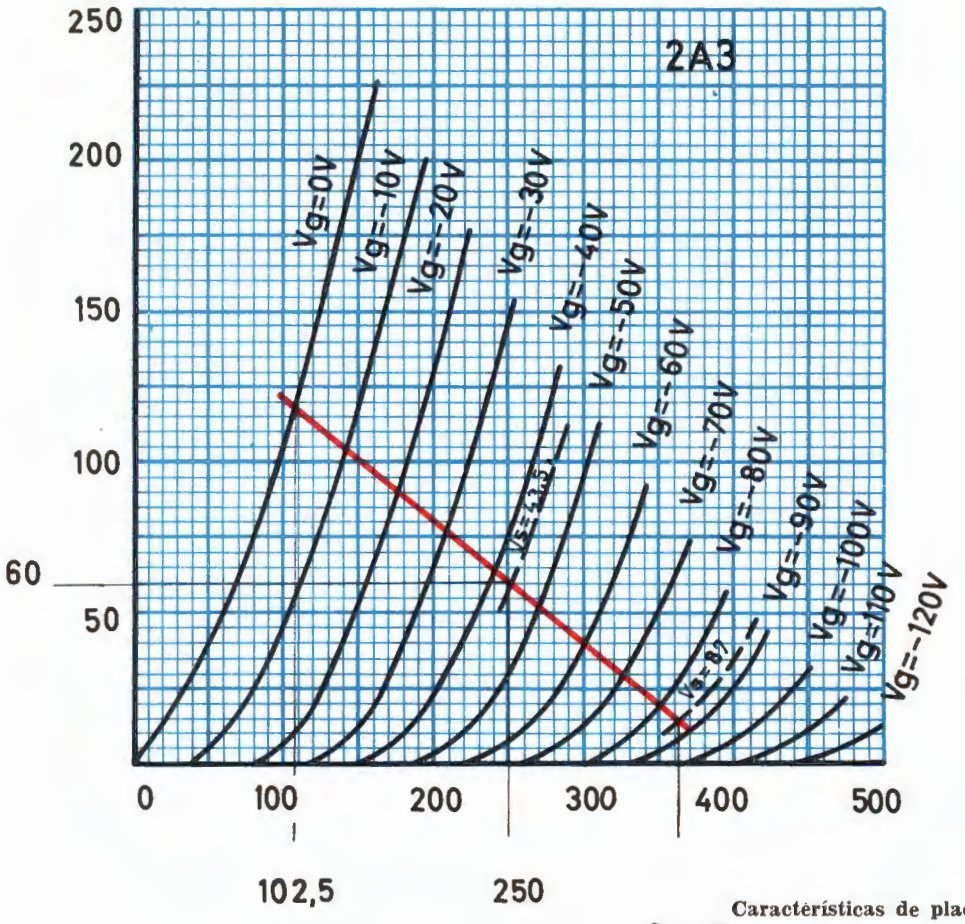
UN CASO PRACTICO

Un triodo que ha sido ampliamente utilizado como amplificador de potencia, y que aún encontramos en muchos montaje *en servicio*, es el 2A3, que puede ver fotografiado. Es un triodo de caldeo directo; el filamento sirve también de cátodo.

Proporcionamos las características de placa de este triodo.

Su resistencia interna es del orden de los 800 Ω. $R_p = 800\ \Omega$, aunque los constructores recomiendan que para reducir la distorsión al mínimo se emplee una resistencia de carga $R_c = 2.500\ \Omega$.

Fotografía de un triodo de potencia que tuvo una gran aplicación. Es el 2A3, cuyas características de placa le proporcionamos.



Características de placa del triodo de potencia 2A3.

La recta de carga se ha trazado, pues, para este valor; y a tenor de ella podemos ver que las variaciones máximas de tensión de placa son:

$$V_S = 357'5 - 102'5 = 255 \ V_{pp}$$

o bien:

$$V_S = \frac{255}{2\sqrt{2}} \ V \text{ eficaces}$$

Las correspondientes variaciones de intensidad son:

$I_S = 117'5 - 12'5 = 105$ mA de pico a pico = $= 0'105 \ A_{pp}$

o bien

$$I_S = \frac{0'105}{2\sqrt{2}} \ A \text{ eficaces}$$

La máxima potencia de salida será, pues:

$$I_S = V \text{ eficaz} \times I \text{ eficaz} = \frac{255 \times 0'105}{8} = 3'35 \ V$$

Para conseguir esta potencia de salida ha sido preciso que la rejilla varíe desde 0 hasta —87 V de pico a pico, lo que representa un valor eficaz de la tensión de entrada de:

$$V_e = \frac{87}{2\sqrt{2}} = 30'7 \ V \text{ eficaces}$$

Los datos característicos de un amplificador de potencia a base de la 2A3 serían:

Máxima potencia de salida con distorsión tolerable = 3'35 W.

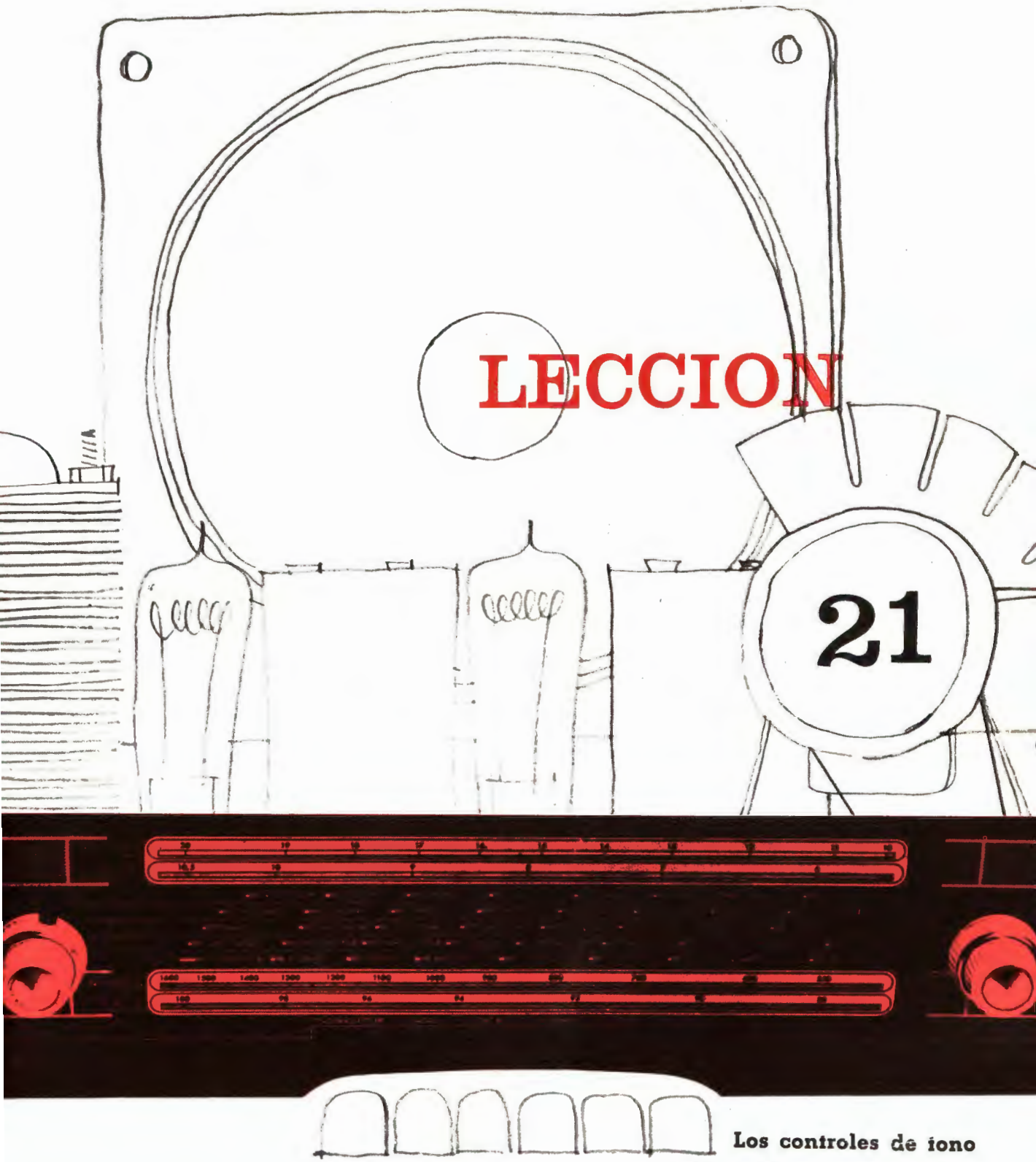
$$\text{Sensibilidad de potencia} = \frac{3'35}{30'7} =$$

$$= 0'109 \ \frac{\text{vatios}}{\text{voltios eficaces}}$$

El punto de trabajo estaría situado sobre $V_g = -43'5$, y los valores de V_p e I_p correspondientes son:

$$V_p = 250 \ V \qquad I_p = 60 \text{ mA}$$

LECCION 21



Los controles de tono

Grabación y reproducción de discos

Estudio de un amplificador para tocadiscos

Estudio práctico de una maleta tocadiscos

El tetrodo y su comportamiento. Acción de la rejilla pantalla. Cómo debería funcionar y cómo funciona el tetrodo. Parámetros. La emisión secundaria. El pentodo. Tetrodos de haces dirigidos.

Tetrodos y pentodos

Se dice que *lo prometido es deuda*. En cumplimiento de lo que exige esta máxima, nos proponemos dar una amplia reseña, descriptiva y analítica, de las válvulas termoiónicas enunciadas en la lección anterior cuando decíamos que para conseguir una gran amplitud en la etapa de salida de los amplificadores de potencia no hacía falta que empleásemos esos triodos de gran tamaño llamados triodos de potencia, sino que podríamos usar otro tipo de válvulas de tamaño no tan exageradamente grande.

Según ha visto, para obtener una gran potencia de salida es necesario que en las válvulas de salida contemos con variaciones de tensión e intensidad de placa cuya amplitud sea la mayor posible sin que llegue a producirse distorsión en grado apreciable.

Cuando aparece la distorsión, los sonidos emitidos por el altavoz pueden llegar a hacerse ininteligibles, o por lo menos estridentes y desagradables.

Pero sabemos de las limitaciones de estas variaciones de tensión e intensidad, que se deben al hecho de que la rejilla no debe llegar a hacerse positiva; pero tampoco tan negativa que llegue a cortar la corriente a través del triodo.

Que la rejilla no debe hacerse positiva es la causa que limita la amplitud de las variaciones de la tensión de placa, ya que el valor mínimo de esta tensión es el que corresponde a la intersección entre la recta dinámica de carga y la característica $V_g = 0$. Este valor, en todos los triodos, acostumbra ser bastante elevado. Recuerde nuestro ejemplo de la lección anterior, cuando trabajábamos con el triodo ideal, y verá que el valor mínimo de V_p era de V.= 88 V.

En el caso del triodo de potencia 2A3, era $V_{pm} = 110$ V.

Es evidente que si conseguimos que la tensión de placa alcance un mínimo más bajo, sin que por ello la rejilla llegue a hacerse positiva, habremos conseguido aumentar la amplitud de las variaciones de tensión, y en consecuencia la potencia de salida, sin que por ello haya aparecido distorsión.

¿Se ha conseguido...? Sabemos que sí, puesto que conocemos la existencia de válvulas cuya misión es lograr lo expuesto en el párrafo anterior y, lo que también es importante, sin que por ello haya sido necesario aumentar exageradamente el tamaño de dichas válvulas, pues ya vimos que una de las formas de conseguir grandes potencias era emplear grandes triodos.

Ahora no se trata de eso, sino de algo distinto por completo: dotar al triodo normal de algunos electrodos auxiliares.

Estos electrodos son una o dos rejillas auxiliares intercaladas entre la primitiva y la placa.

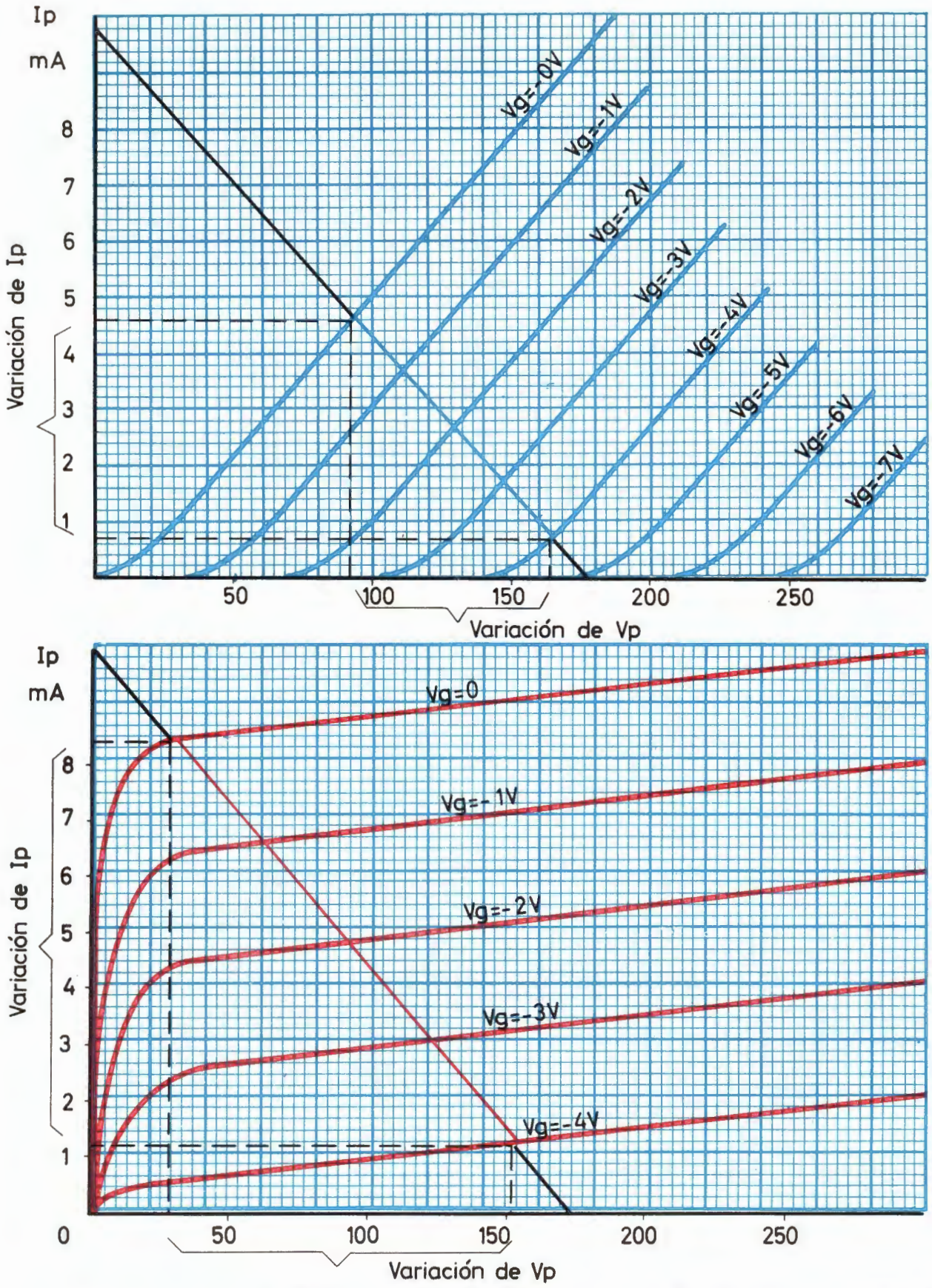
En el primer caso, la válvula tiene cuatro electrodos: cátodo, dos rejillas y placa. Si la válvula de tres electrodos se llama triodo (tres caminos), es lógico que llamemos TETRODO a la que tiene cuatro electrodos, puesto que el prefijo *tetra* es la palabra griega que significa cuatro.

Cuando son dos las rejillas añadidas al triodo, tendremos una válvula con cinco electrodos: cátodo, tres rejillas y placa. Su nombre lo forman las palabras griegas que significan cinco y camino, o sea, PENTODO. En griego, *penta* es cinco.

Observe que, de acuerdo con esta definición del tetrodo y del pentodo, tales tipos de válvulas no son otra cosa que una variante del triodo. Y puesto que, a fines de estudio, nos hemos apoyado en esta tan eficaz invención nuestra del triodo ideal, es lógico que ahora, cuando tratemos de descubrir el comportamiento de las nuevas válvulas, lo hagamos suponiendo la existencia de un tetrodo y de un pentodo ideales, derivados del triodo ideal, viejo amigo nuestro.

Y llegamos al capítulo de preguntas; porque, si todas estas complicaciones vienen de la necesidad de obtener válvulas en las cuales la tensión de placa pueda adquirir valores menores, ¿cuál es la razón por la que tales válvulas consiguen esta reducción en el valor mínimo de la tensión de placa?

Hay una razón física, desde luego; pero, afrontando el efecto de esta razón, empecemos viendo que las características de estas nuevas válvulas



Es suficiente comparar las características de placa del triodo ideal con el pentodo ideal para darnos cuenta de que la misma recta dinámica de carga señala variaciones posibles de I_p y V_p mucho mayores en el pentodo que en el triodo.

tienen una forma muy distinta de las del triodo. Ilustrando esta afirmación, adjuntamos las características de placa de nuestro triodo ideal para que pueda compararlas con las que corresponden al pentodo que suponemos formado al añadir dos nuevas rejillas al triodo ideal. Es decir: son las características de placa del pentodo ideal. Observe que en ellas la parte inicial es mucho más vertical que en las del triodo.

En estas características hemos añadido una recta dinámica de carga. Puede observar que las variaciones de I_p y V_p que pueden producirse sin provocar distorsión al desplazarse el punto de trabajo a lo largo de la recta dinámica de carga son mucho mayores en el pentodo que en el triodo.

Dada la gran difusión que tienen hoy en día tales válvulas (los pentodos sobre todo), es imprescindible que el técnico en electrónica tenga una clara idea de su funcionamiento. Con ello llegará a comprender el motivo por el que las características adquieren la forma que nos será familiar dentro de poco.

En el párrafo anterior queda resumida la finalidad de esta lección. Empezaremos por el estudio del tetrodo, tipo de válvula, si bien menos utilizada que el pentodo, cuyo conocimiento es un paso obligado para la comprensión de aquél.

EL TETRODO

Preste de nuevo atención a las características de placa del pentodo ideal que le hemos hecho comparar con las del triodo.

Advertirá un hecho que las diferencia claramente: PARA TENSIONES DE PLACA PEQUEÑAS LAS CORRIENTES DE PLACA SON MUCHO MAYORES EN EL PENTODO QUE EN EL TRIODO.

Por ejemplo: tome las características de placa del triodo ideal. Sobre la que corresponde a $V_g = 0$, vea la intensidad de placa I_p que corresponde a $V_p = 20$ V. Advertirá que para $V_p = 20$ V es $I_p = 0'5$ mA.

Haga lo mismo con las características del pentodo ideal y verá que para $V_p = 20$ V, considerando la característica $V_g = 0$, la intensidad de placa es $I_p = 8'2$ mA.

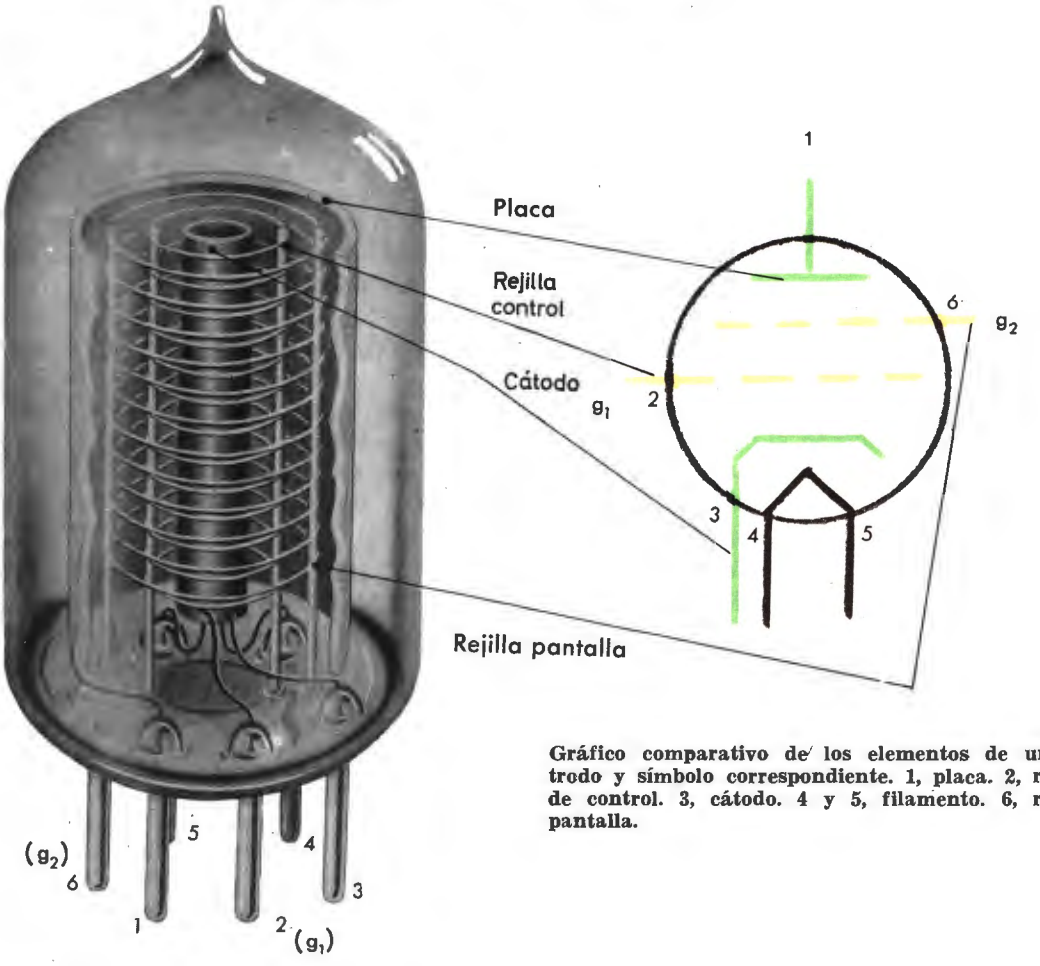


Gráfico comparativo de los elementos de un tetrodo y símbolo correspondiente. 1, placa. 2, rejilla de control. 3, cátodo. 4 y 5, filamento. 6, rejilla pantalla.

Al seccionar un pentodo según un plano axial aparece con bastante aproximación su representación simbólica.

Y ésta es precisamente la razón por la cual el pentodo consigue mayores potencias de salida sin distorsión. He ahí un efecto importante que (como todo efecto) tiene su causa inmediata. Preguntemos de nuevo:

¿Cuál es la causa que ha llevado a la propiedad citada?

Lo primero que se les ocurrió a los investigadores fue añadir una segunda rejilla al triodo, situada entre la placa y la rejilla primitiva. Durante el funcionamiento de la válvula, la segunda rejilla queda conectada a un potencial positivo invariable, un potencial fijo.

Con ello quedó formada la válvula electrónica de cuatro electrodos: el tetrodo, cuyo símbolo es el mismo que el del triodo con el aditamento de la nueva rejilla.

De forma similar a lo que hicimos en la lección 8 de este Tratado cuando demostramos lo razonable de la representación simbólica del triodo, también aquí podemos imaginar lo que sería una sección del tetrodo practicada en el sentido de su eje de simetría. Es notoria la semejanza entre esta sección y el símbolo de la válvula.

Quedamos, pues, en que el tetrodo tiene dos rejillas. Cada una cumple con una finalidad distinta que las distingue incluso en su nombre. En efecto: la primera rejilla, la que podemos considerar perteneciente al triodo de origen, recibe el nombre de REJILLA DE CONTROL, puesto que su misión es controlar el paso de corriente a través de la válvula. Su símbolo literal es g_1.

La segunda rejilla recibe el nombre de REJILLA PANTALLA..., por la razón que luego veremos. La designamos por g_2.

FUNCIONAMIENTO DEL TETRODO

Acción de la rejilla pantalla

La personalidad del tetrodo, su forma especial de comportarse, se halla sin discusión en la rejilla que lo ha transformado de triodo en tetrodo. Es decir: partiendo del supuesto de que el tetrodo no es otra cosa que un triodo con dos rejillas, podemos formularnos esta pregunta:

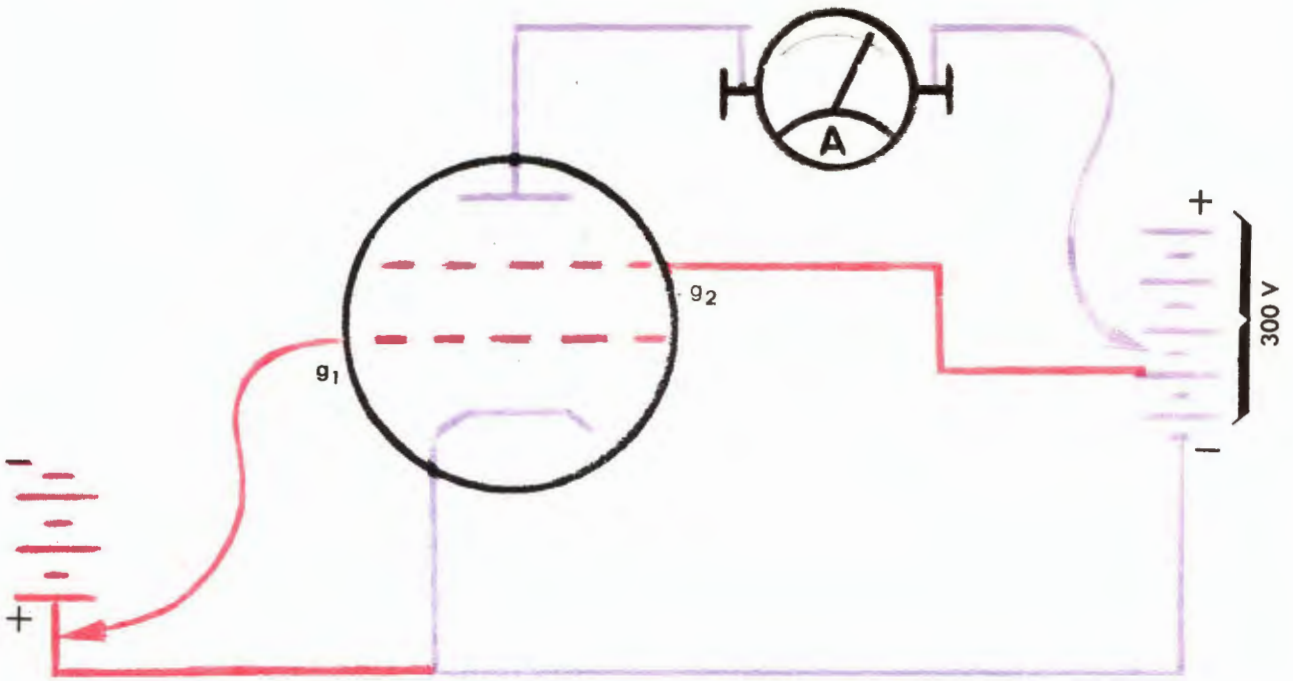
¿Cómo influye la nueva rejilla (pantalla) en el funcionamiento del triodo?

Para responder a esta pregunta, hagamos un montaje similar al que nos sirvió, en la lección 8, para deducir las características de placa del triodo ideal. La única diferencia entre aquel montaje y el que ahora necesitamos está en el hecho de requerir un potencial positivo fijo para la rejilla g_2 (pantalla), que le comunicamos por medio de una conexión derivada de la batería de placa. Para fijar un valor a este potencial de g_2, digamos que es, por ejemplo, de +100 V.

Visto el montaje, ¿empieza la experiencia?

Aún no, porque nos gusta que los conocimientos que se adquieren vengan apoyados por la reflexión, por razonamientos lógicos. Por ello, antes de averiguar experimentalmente la forma que tienen las características que nos ocupan, intentaremos deducirlas y llegar a comprender por qué se les ocurrió a los investigadores la idea de añadir al triodo la rejilla pantalla.

En principio, lo que se nos ocurre pensar es



Con este montaje podemos descubrir las características de placa del tetrodo. A la rejilla g_2 le comunicamos un potencial fijo positivo tomado de la batería de placa.

que las características que obtengamos serán distintas que las del triodo, puesto que, en buena lógica, debemos suponer que la rejilla pantalla modifica el funcionamiento de la válvula. Así, cuando la rejilla control g_1 esté conectada al cátodo, o sea, cuando $V_g = 0$, al ir variando la tensión de placa V_p, la intensidad I_p variaría de acuerdo con lo que indica la característica $V_g = 0$ del triodo, *siempre y cuando la rejilla* g_2 *no ejerciese acción alguna sobre los electrones de la carga espacial del cátodo.*

Pero, dado que dicha rejilla ejerce una determinada acción, la característica de placa para $V_g = 0$ será distinta en el tetrodo.

COMO DEBIERA FUNCIONAR EL TETRODO

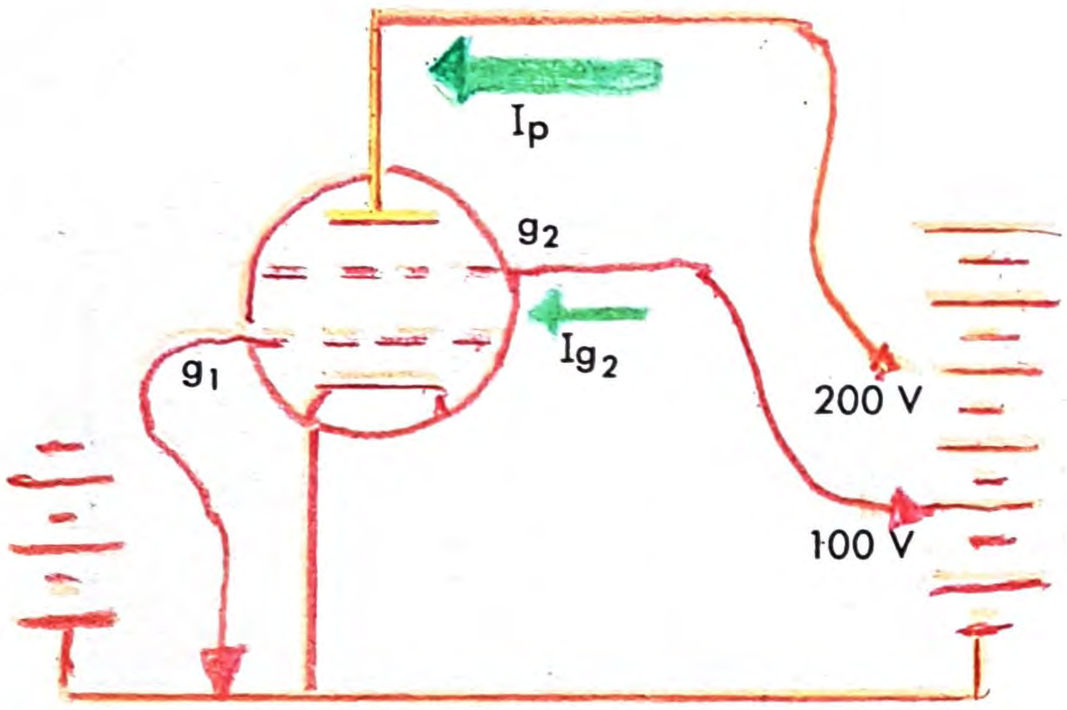
Empecemos suponiendo que la placa es más positiva que la rejilla pantalla, a la que hemos dado un potencial positivo de 100 V. La placa puede tener, pongamos por caso, un potencial de 150 a 200 V.

En estas condiciones, es evidente que los electrodos emitidos por el cátodo son atraídos tanto por la placa como por la rejilla g_2 (recuerde que suponemos que es $V_g = 0$), a la cual llegan con tal velocidad que sólo un número muy reducido de electrones chocan con ella. La inmensa mayoría de electrones *se cuelan* por entre los hilos de la pantalla y prosiguen su marcha hasta que alcanzan la placa.

Fíjese en que, en estas condiciones, hay dos electrodos que *tiran* de los electrones de la carga espacial que rodea al cátodo. En realidad, pues, circulará corriente por la pantalla y por la placa; pero puede decirse que es la placa la que se aprovecha de la acción de la pantalla, puesto que casi todos los electrones (los que atrae la fuerza conjunta de ambos electrodos) atraviesan g_2 para precipitarse sobre la placa.

Vayamos disminuyendo el potencial de placa. Lógicamente, disminuye la totalidad de la fuerza de atracción que arranca electrones de la carga espacial del cátodo. Pero la pantalla sigue atrayendo electrones con suficiente fuerza para que alcancen la velocidad necesaria para atravesarla. La corriente de placa disminuye debido a la disminución de su potencial positivo; pero, dado que la pantalla sigue trabajando para ella, esta disminución no es tan acusada como en el caso del triodo.

Como resultado final, se ve que para un valor determinado de V_g la característica de placa



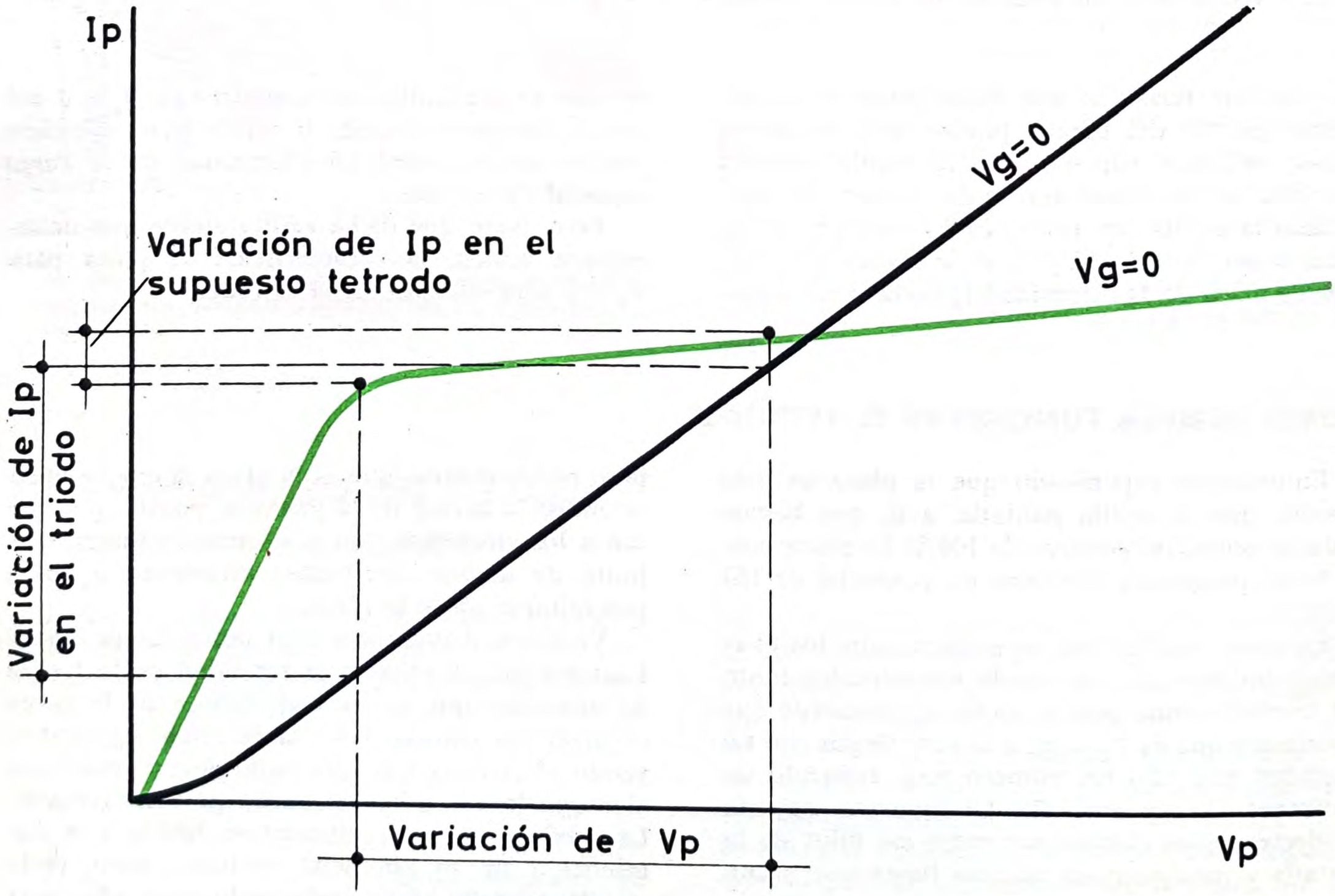
Cuando la tensión de placa es superior al potencial aplicado a g_2, es la placa la que sale beneficiada, en el sentido de que la pantalla absorbe poquísimos electrones. La corriente que circula por g_2 es mucho menor que la corriente que circula por la placa.

del tetrodo será más horizontal que la del triodo, poniendo de manifiesto que una misma variación de V_p provoca variaciones de I_p mucho menos importantes en el tetrodo que en el triodo.

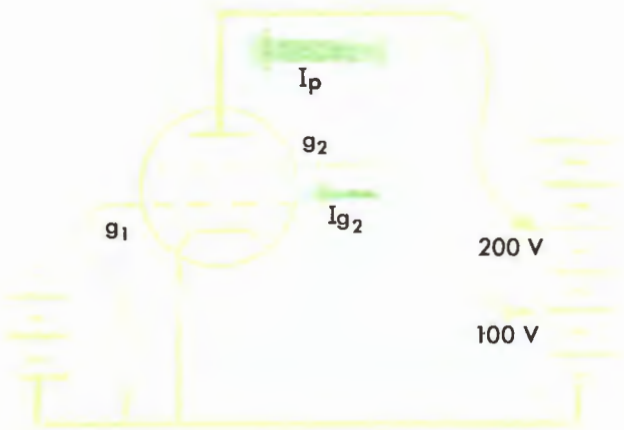
Hasta aquí, obsérvelo, hemos supuesto que la placa del tetrodo era más positiva que su pantalla. Lo dicho se cumplirá mientras se mantenga la circunstancia citada: placa con mayor potencial positivo que la rejilla pantalla.

Hagamos que el potencial de placa vaya disminuyendo hasta que sea menos positivo que la pantalla; en cuanto alcancemos esta circunstancia, las cosas sufrirán un cambio radical.

Los electrones (cargas negativas) atravesarán la pantalla gracias a la gran velocidad adquirida; pero una vez en la zona comprendida entre ella y la placa, se sentirán más atraídos por la primera que por la segunda. Es decir: al ser la pantalla más positiva que la placa, los electrones quedan sometidos a una fuerza que tiende a hacerles retroceder de nuevo hacia la pantalla, que por su mayor potencial frena su velocidad.



En este gráfico aparecen dos características de placa imaginarias. En negro, la que correspondería a un triodo. En color, la de un tetrodo, ambas para $V_g = 0$. Se advierte claramente que para una misma variación de V_p la variación de I_p que corresponde al tetrodo es mucho más pequeña que la que corresponde al triodo.



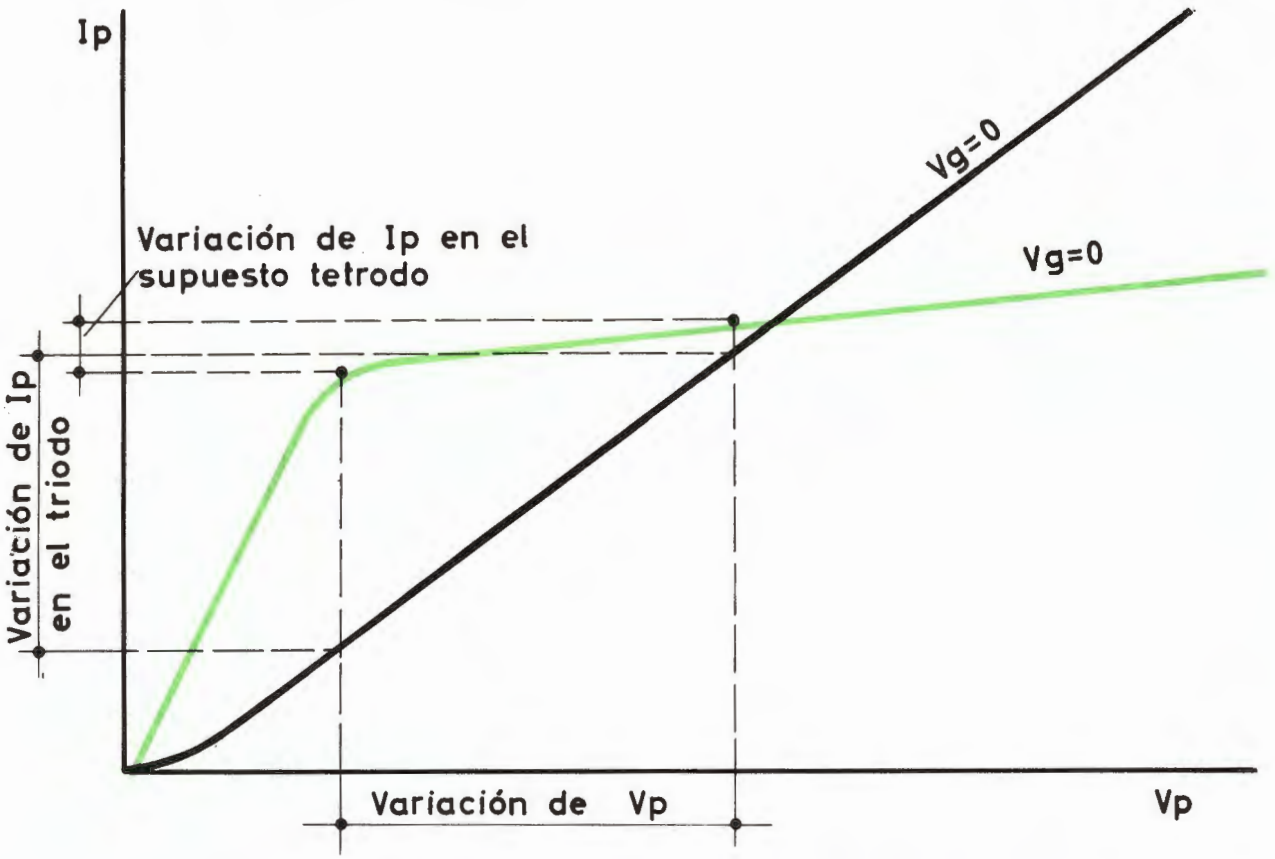
Cuando la tensión de placa es superior al potencial aplicado a g_2, es la placa la que sale beneficiada, en el sentido de que la pantalla absorbe poquísimos electrones. La corriente que circula por g_2 es mucho menor que la corriente que circula por la placa.

del tetrodo será más horizontal que la del triodo, poniendo de manifiesto que una misma variación de V_p provoca variaciones de I_p mucho menos importantes en el tetrodo que en el triodo.

Hasta aquí, obsérvelo, hemos supuesto que la placa del tetrodo era más positiva que su pantalla. Lo dicho se cumplirá mientras se mantenga la circunstancia citada: placa con mayor potencial positivo que la rejilla pantalla.

Hagamos que el potencial de placa vaya disminuyendo hasta que sea menos positivo que la pantalla; en cuanto alcancemos esta circunstancia, las cosas sufrirán un cambio radical.

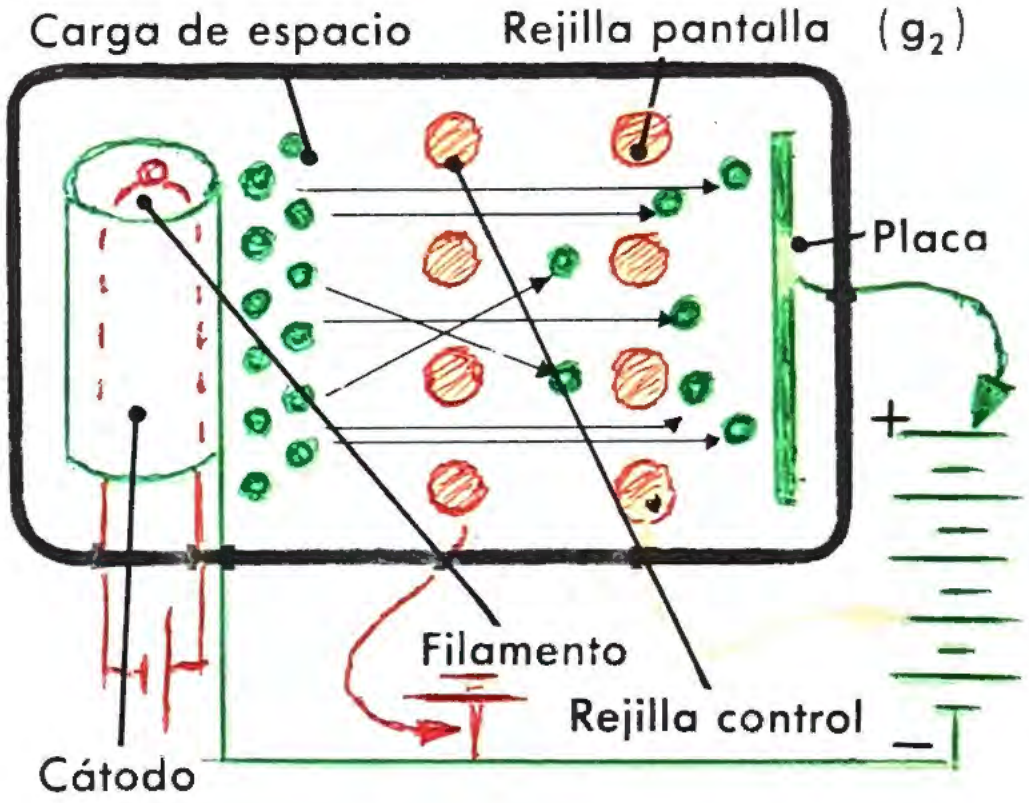
Los electrones (cargas negativas) atravesarán la pantalla gracias a la gran velocidad adquirida; pero una vez en la zona comprendida entre ella y la placa, se sentirán más atraídos por la primera que por la segunda. Es decir: al ser la pantalla más positiva que la placa, los electrones quedan sometidos a una fuerza que tiende a hacerles retroceder de nuevo hacia la pantalla, que por su mayor potencial frena su velocidad.

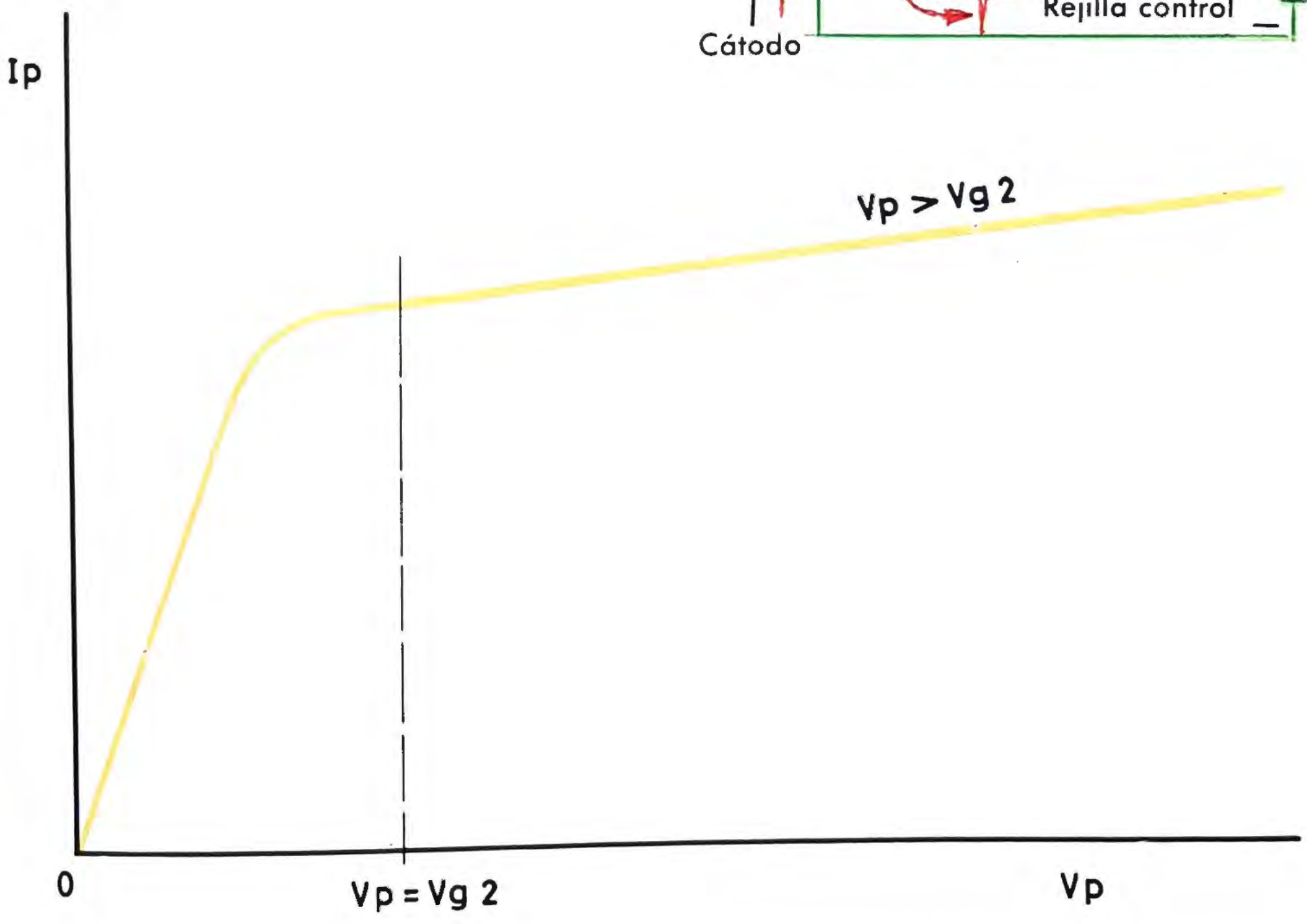


En este gráfico aparecen dos características de placa imaginarias. En negro, la que correspondería a un triodo. En color, la de un tetrodo, ambas para $V_g = 0$. Se advierte claramente que para una misma variación de V_p la variación de I_p que corresponde al tetrodo es mucho más pequeña que la que corresponde al triodo.

Mientras la d.d.p. entre placa y pantalla no alcanza valores apreciables, el efecto es poco importante; pero en el supuesto de que se siga disminuyendo el potencial de placa, mayor será el número de electrones que, habiendo atravesado la pantalla, retroceden de nuevo hacia ella. A partir de un cierto valor del potencial de placa, cuando la pantalla es más positiva, el número de electrones frenados aumenta rápidamente; en consecuencia, la corriente de placa disminuye con la misma rapidez, mientras que la corriente de pantalla aumenta en la misma proporción. El límite de esta progresión se encuentra, es lógico, cuando $V_p = 0$. Para un potencial de placa nulo, todos los electrones serán absorbidos por la pantalla; desaparecerá la corriente de placa.

Si hemos comprendido este comportamiento electrónico ideal del tetrodo, comprenderemos también el porqué de la forma de sus características de placa. Según lo dicho, la característica $V_g = 0$ del tetrodo presentará un tramo casi horizontal correspondiente a los valores de V_p mayores que el potencial de pantalla. Esta zona casi horizontal se prolongará un poco más para los valores de V_p ligeramente más pequeños que el potencial de pantalla. Una vez sobrepasada esta zona, cuando el potencial de placa empieza a ser bastante menor que el potencial aplicado a la pantalla (100 V, según el ejemplo propuesto anteriormente), encontramos un tramo de característica casi vertical que relaciona los valores de V_p para los cuales la corriente de placa I_p disminuye de manera fulminante.

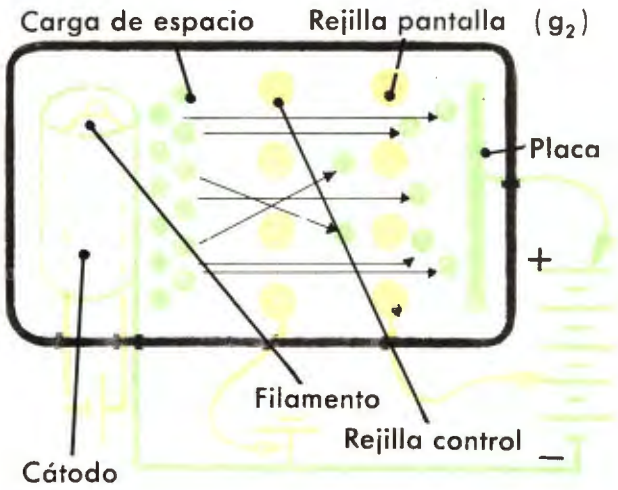


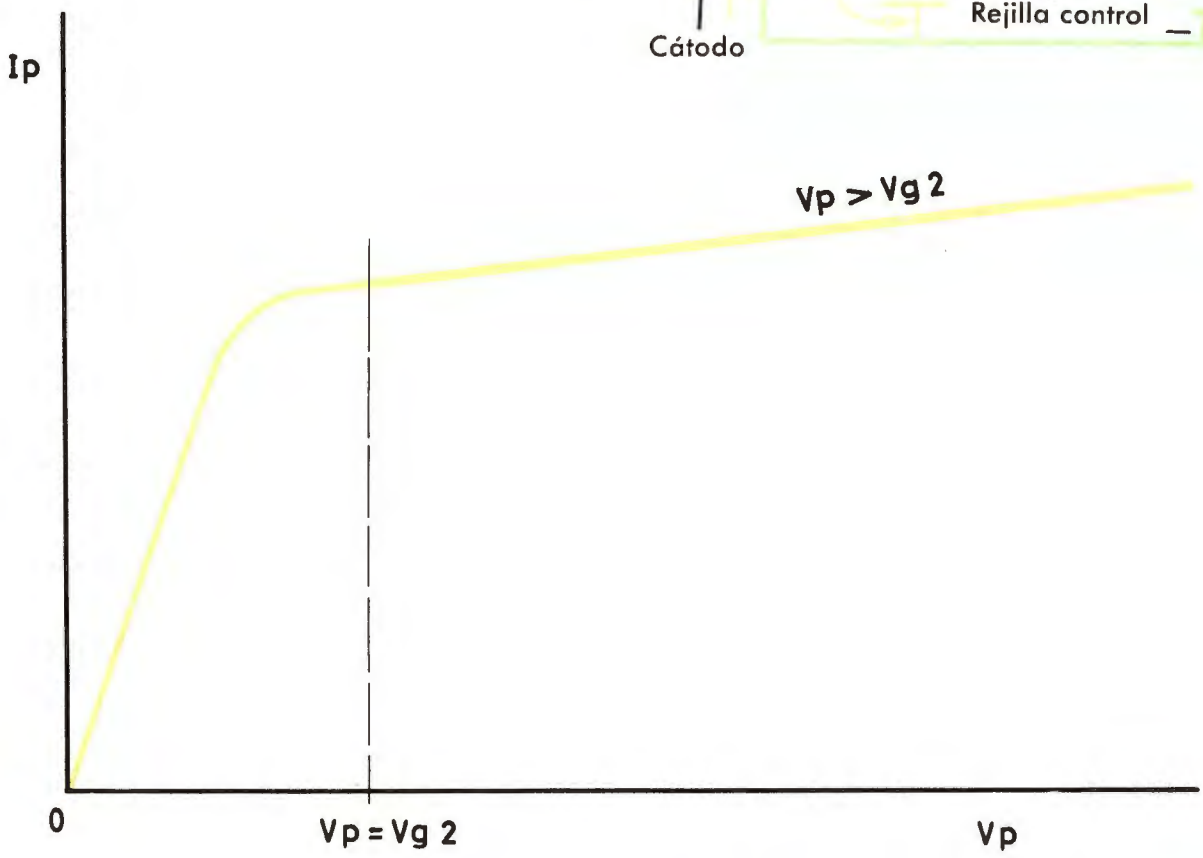


1.º Caso en que $V_p > V_{g2}$
Al ser mayor el potencial de placa que el potencial aplicado a g_2, la gran mayoría de electrones alcanzan la placa Sólo unos pocos son absorbidos por la pantalla. Para estos valores la característica es una línea casi horizontal.

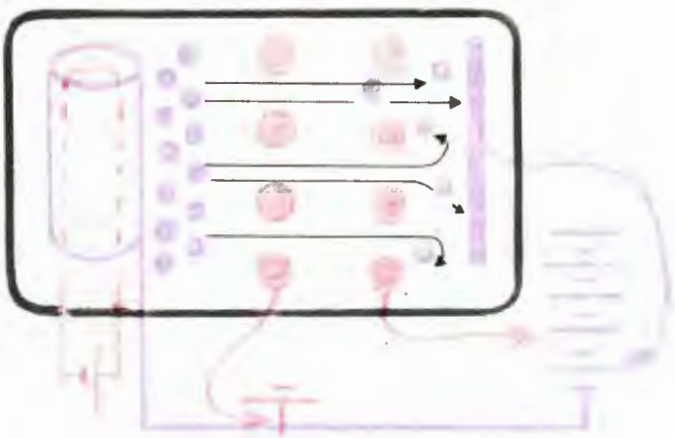
Mientras la d.d.p. entre placa y pantalla no alcanza valores apreciables, el efecto es poco importante; pero en el supuesto de que se siga disminuyendo el potencial de placa, mayor será el número de electrones que, habiendo atravesado la pantalla, retroceden de nuevo hacia ella. A partir de un cierto valor del potencial de placa, cuando la pantalla es más positiva, el número de electrones frenados aumenta rápidamente; en consecuencia, la corriente de placa disminuye con la misma rapidez, mientras que la corriente de pantalla aumenta en la misma proporción. El límite de esta progresión se encuentra, es lógico, cuando $V_p = 0$. Para un potencial de placa nulo, todos los electrones serán absorbidos por la pantalla; desaparecerá la corriente de placa.

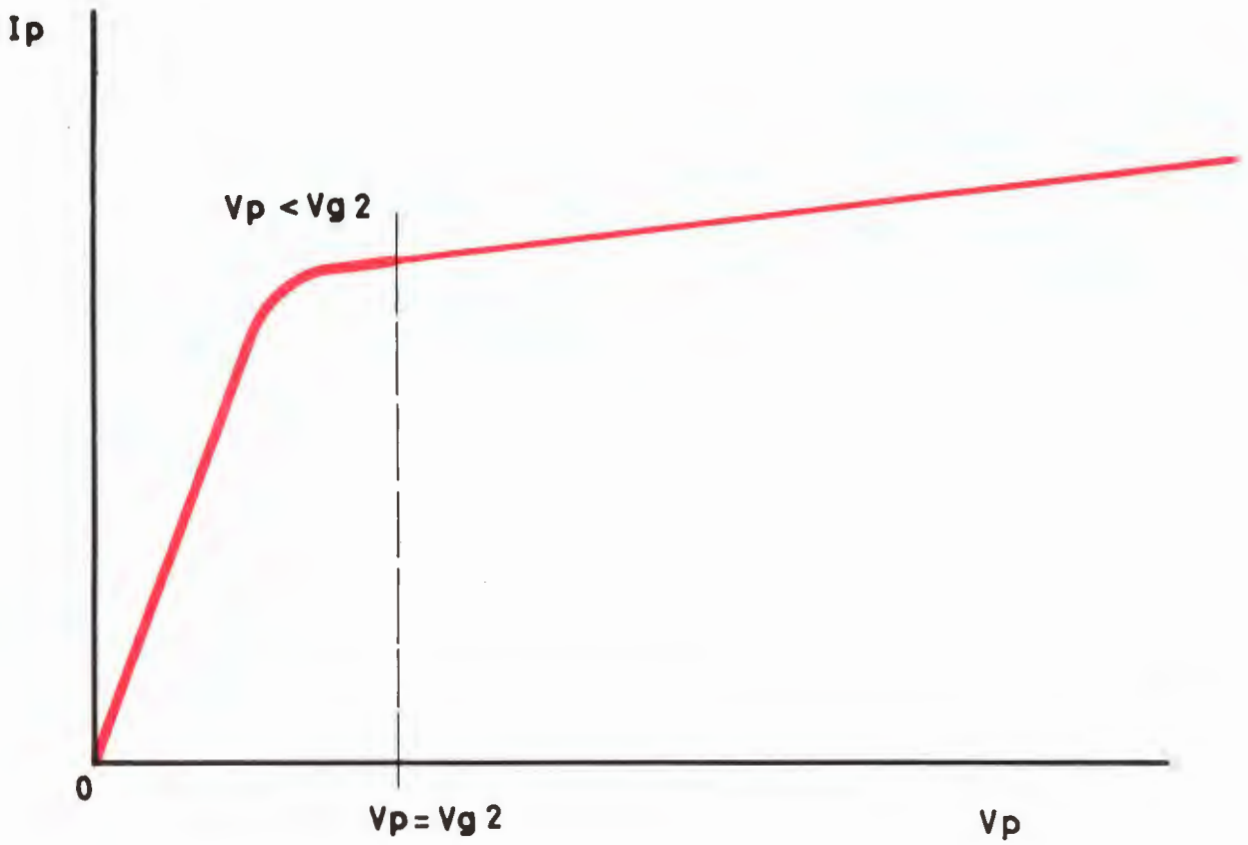
Si hemos comprendido este comportamiento electrónico ideal del tetrodo, comprenderemos también el porqué de la forma de sus características de placa. Según lo dicho, la característica $V_g = 0$ del tetrodo presentará un tramo casi horizontal correspondiente a los valores de V_p mayores que el potencial de pantalla. Esta zona casi horizontal se prolongará un poco más para los valores de V_p ligeramente más pequeños que el potencial de pantalla. Una vez sobrepasada esta zona, cuando el potencial de placa empieza a ser bastante menor que el potencial aplicado a la pantalla (100 V, según el ejemplo propuesto anteriormente), encontramos un tramo de característica casi vertical que relaciona los valores de V_p para los cuales la corriente de placa I_p disminuye de manera fulminante.



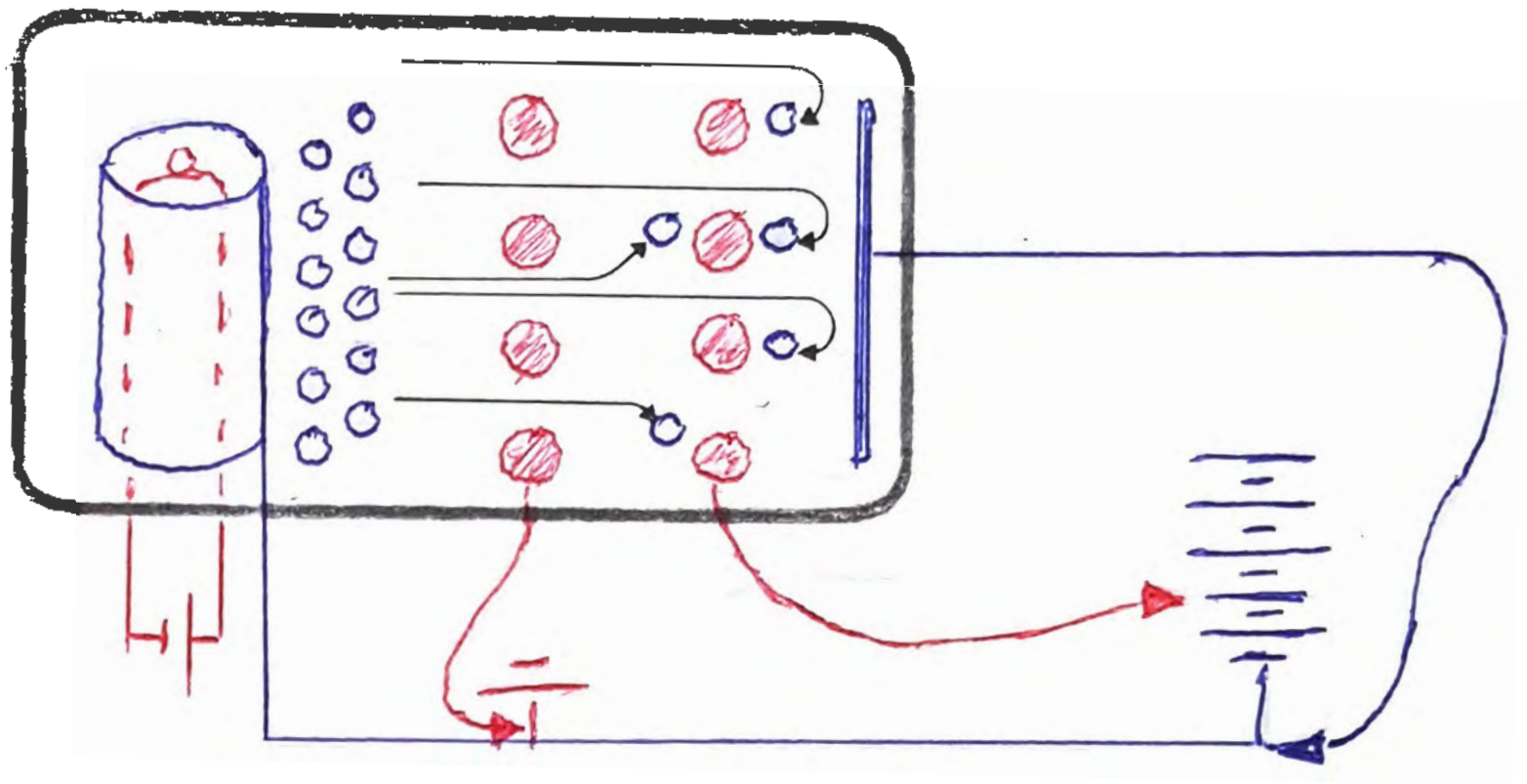


1.º Caso en que $V_p > V_{g2}$
Al ser mayor el potencial de placa que el potencial aplicado a g_2, la gran mayoría de electrones alcanzan la placa Sólo unos pocos son absorbidos por la pantalla. Para estos valores la característica es una línea casi horizontal.





2.º Caso en que $V_p < V_{g2}$
Al ser mayor el potencial de la pantalla que el potencial de placa algunos de los electrones que han atravesado g_2 no llegan a la placa, sino que retroceden hasta la pantalla, cada vez en mayor número a medida que disminuye V_p. Para estos valores queda cubierto el resto del tramo casi horizontal de la característica y el tramo casi vertical.



3.º Cuando $V_p = 0$
Todos los electrones que han pasado a través de la rejilla pantalla vuelven a ella. La corriente de placa es nula; por tanto, estamos en el punto cero de la característica. $V_p = 0$ e $I_p = 0$.

Para mayor claridad, podemos intentar una ilustración del fenómeno descrito. Véala, por favor:

Si ahora tiene la curiosidad de comparar la característica que, por puro razonamiento, hemos intuido para el tetrodo con las que al principio de la lección hemos dado como características del pentodo ideal, se dará cuenta de que en ambos casos el aspecto de la característica $V_g = 0$ es el mismo.

¿Qué diferencia existe, pues, entre el comportamiento de un tetrodo y el de un pentodo?

Viendo las cosas como ahora las tenemos, ninguna. Pero no olvide que todo lo dicho sobre el comportamiento del tetrodo no es más que hipótesis lógicas sobre *cómo debería funcionar el tetrodo,* hipótesis que indujeron a los investigadores a incluir la rejilla pantalla para obtener una válvula con un funcionamiento del tipo indicado.

Pero ¡lo que son las cosas! Los resultados reales fueron bastante distintos. En las hipótesis anteriores fallaba algo.

COMO FUNCIONA REALMENTE EL TETRODO

Hemos visto lo que se esperaba del tetrodo. Veamos ahora lo que obtenemos de él.

Para ello procederemos al trazado de la curva característica de placa para $V_g = 0$, pero buscando la relación entre V_p e I_p de una forma experimental.

Gracias al montaje anteriormente propuesto, que para mayor claridad repetimos aquí, iremos anotando los valores de I_p dados por el amperímetro, para cada uno de los valores dados a V_p.

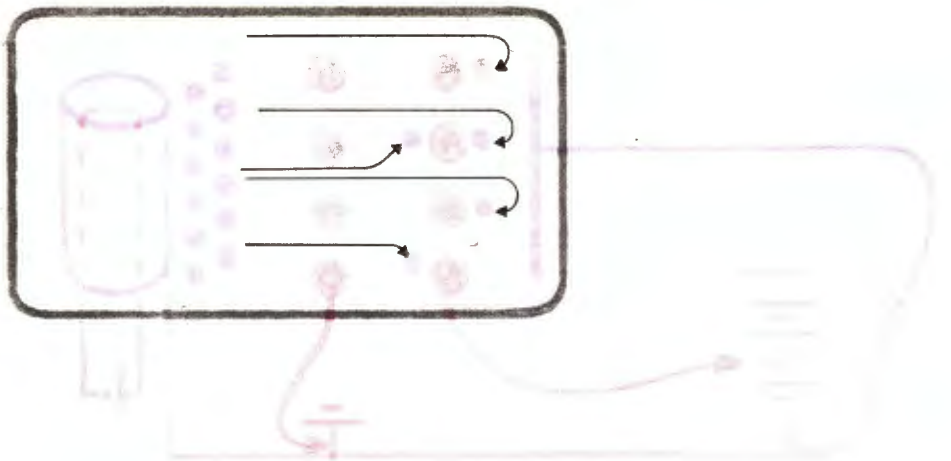
Llevando los valores encontrados sobre un sistema coordenado, encontraremos una curva cuya forma difiere considerablemente de la que habíamos previsto.

Meditando sobre esta curiosa curva, nos damos cuenta de que las cosas ocurren según lo previsto, mientras el valor de V_p se mantenga bastante por encima de V_{g2}. Pero en cuanto el potencial de placa se acerca demasiado al de pantalla, o bien se hace menor, lo previsto no tiene nada que ver con la realidad.

En efecto: la corriente de placa empieza a disminuir antes de que se igualen los potenciales V_p y V_{g2}; disminuye antes de lo previsto. Pero lo más curioso es ver que para valores de V_p menores que V_{g2}, la curva ofrece una porción entre los codos *a* y *b* donde parece que los electrones se hayan vuelto locos. Se da una paradoja: en esta porción *a-b*, cuando disminuye el potencial dado a la placa ¡la corriente aumenta! Ocurre todo lo contrario de lo que cabía esperar.

Se dice que la válvula tiene una RESISTENCIA DE PLACA NEGATIVA en esta zona.

La propiedad de poseer características con resistencia negativa no es exclusiva de los tetrodos, sino que se extiende a otros muchos dispositivos



3.º Cuando $V_p = 0$
Todos los electrones que han pasado a través de la rejilla pantalla vuelven a ella. La corriente de placa es nula; por tanto, estamos en el punto cero de la característica. $V_p = 0$ e $I_p = 0$.

Para mayor claridad, podemos intentar una ilustración del fenómeno descrito. Véala, por favor:

Si ahora tiene la curiosidad de comparar la característica que, por puro razonamiento, hemos intuido para el tetrodo con las que al principio de la lección hemos dado como características del pentodo ideal, se dará cuenta de que en ambos casos el aspecto de la característica $V_g = 0$ es el mismo.

¿Qué diferencia existe, pues, entre el comportamiento de un tetrodo y el de un pentodo?

Viendo las cosas como ahora las tenemos, ninguna. Pero no olvide que todo lo dicho sobre el comportamiento del tetrodo no es más que hipótesis lógicas sobre *cómo debería funcionar el tetrodo*, hipótesis que indujeron a los investigadores a incluir la rejilla pantalla para obtener una válvula con un funcionamiento del tipo indicado.

Pero ¡lo que son las cosas! Los resultados reales fueron bastante distintos. En las hipótesis anteriores fallaba algo.

COMO FUNCIONA REALMENTE EL TETRODO

Hemos visto lo que se esperaba del tetrodo. Veamos ahora lo que obtenemos de él.

Para ello procederemos al trazado de la curva característica de placa para $V_g = 0$, pero buscando la relación entre V_p e I_p de una forma experimental.

Gracias al montaje anteriormente propuesto, que para mayor claridad repetimos aquí, iremos anotando los valores de I_p dados por el amperímetro, para cada uno de los valores dados a V_p.

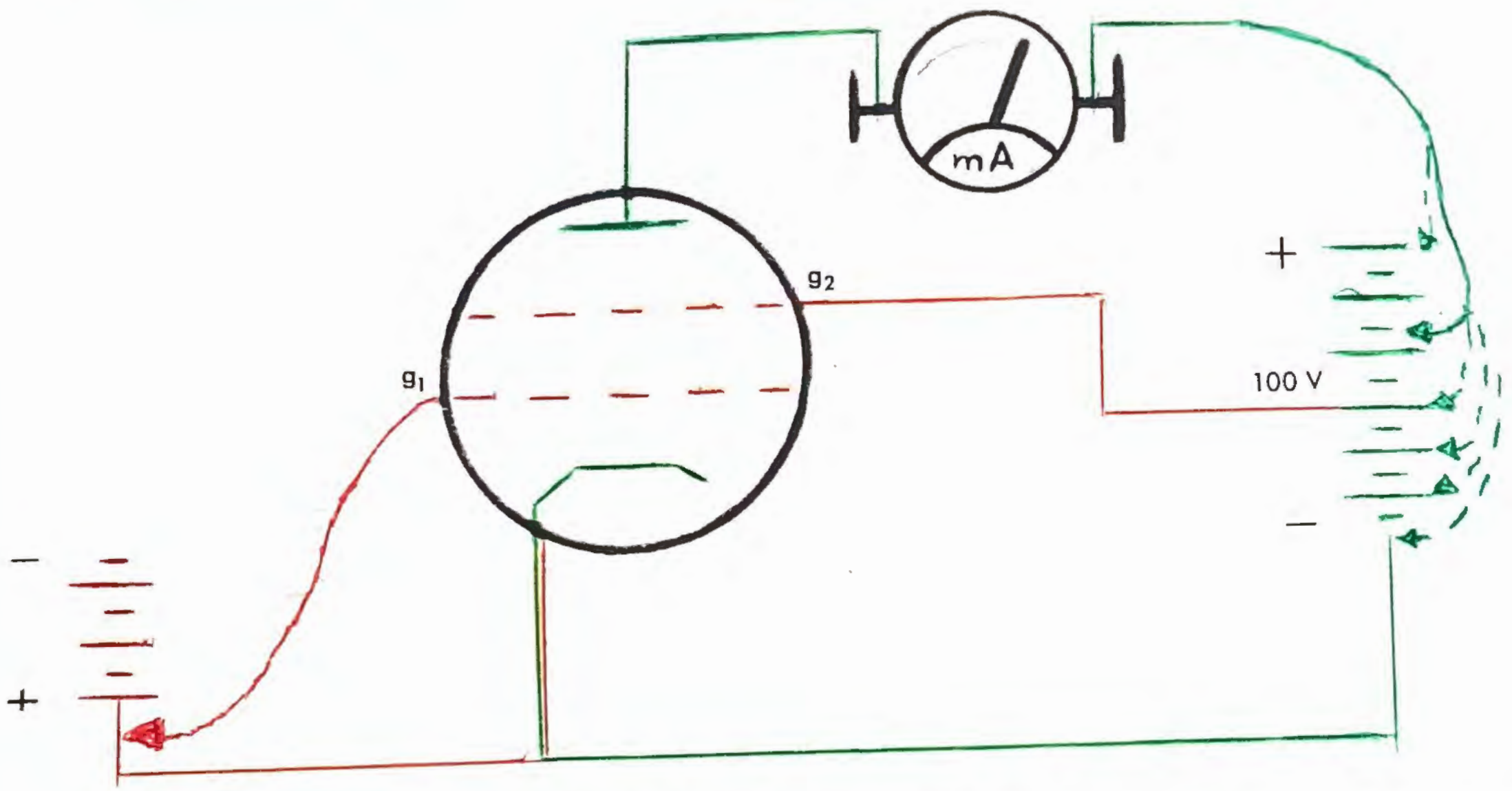
Llevando los valores encontrados sobre un sistema coordenado, encontraremos una curva cuya forma difiere considerablemente de la que habíamos previsto.

Meditando sobre esta curiosa curva, nos damos cuenta de que las cosas ocurren según lo previsto, mientras el valor de V_p se mantenga bastante por encima de V_{g2}. Pero en cuanto el potencial de placa se acerca demasiado al de pantalla, o bien se hace menor, lo previsto no tiene nada que ver con la realidad.

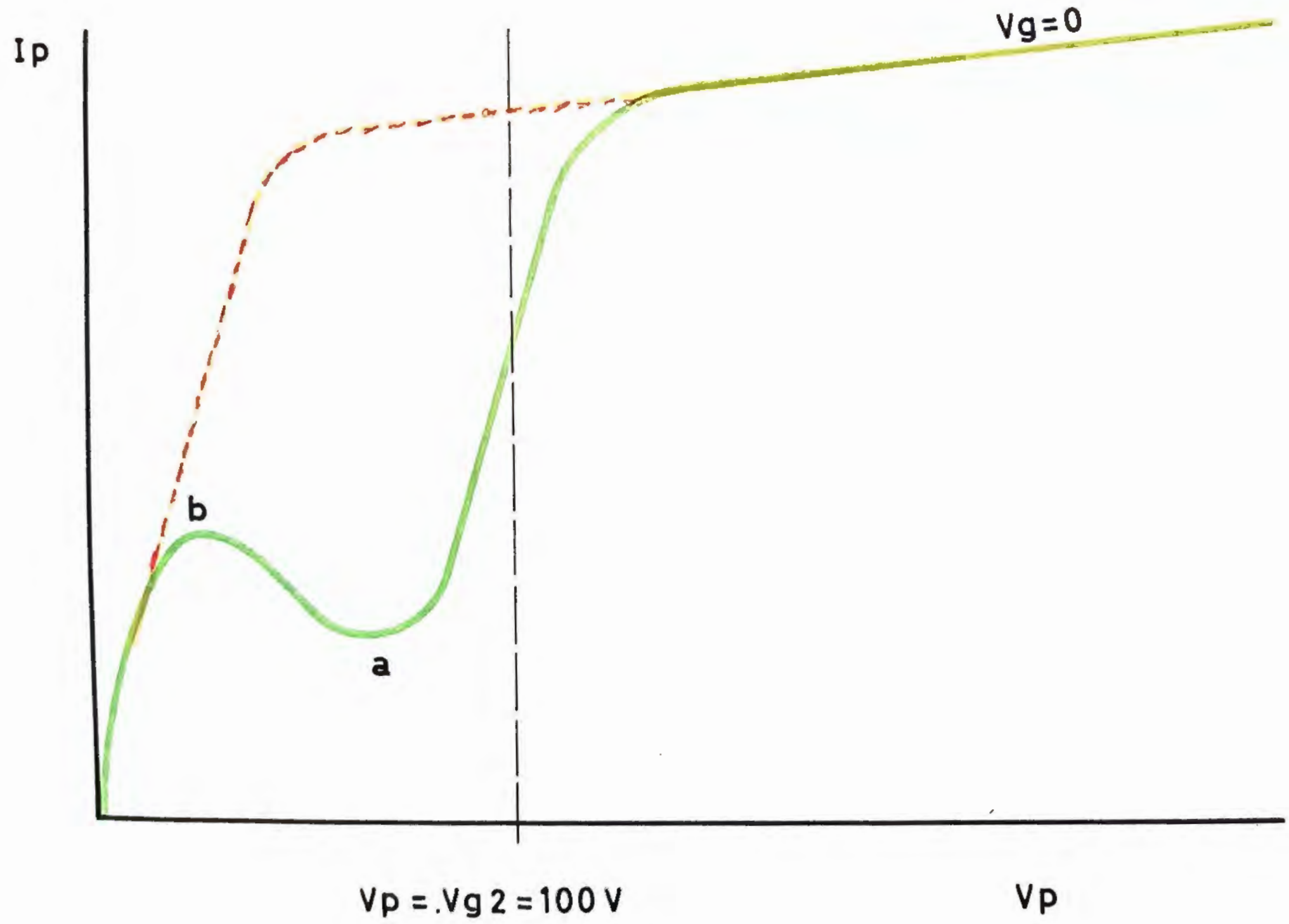
En efecto: la corriente de placa empieza a disminuir antes de que se igualen los potenciales V_p y V_{g2}; disminuye antes de lo previsto. Pero lo más curioso es ver que para valores de V_p menores que V_{g2}, la curva ofrece una porción entre los codos *a* y *b* donde parece que los electrones se hayan vuelto locos. Se da una paradoja: en esta porción *a-b*, cuando disminuye el potencial dado a la placa ¡la corriente aumenta! Ocurre todo lo contrario de lo que cabía esperar.

Se dice que la válvula tiene una RESISTENCIA DE PLACA NEGATIVA en esta zona.

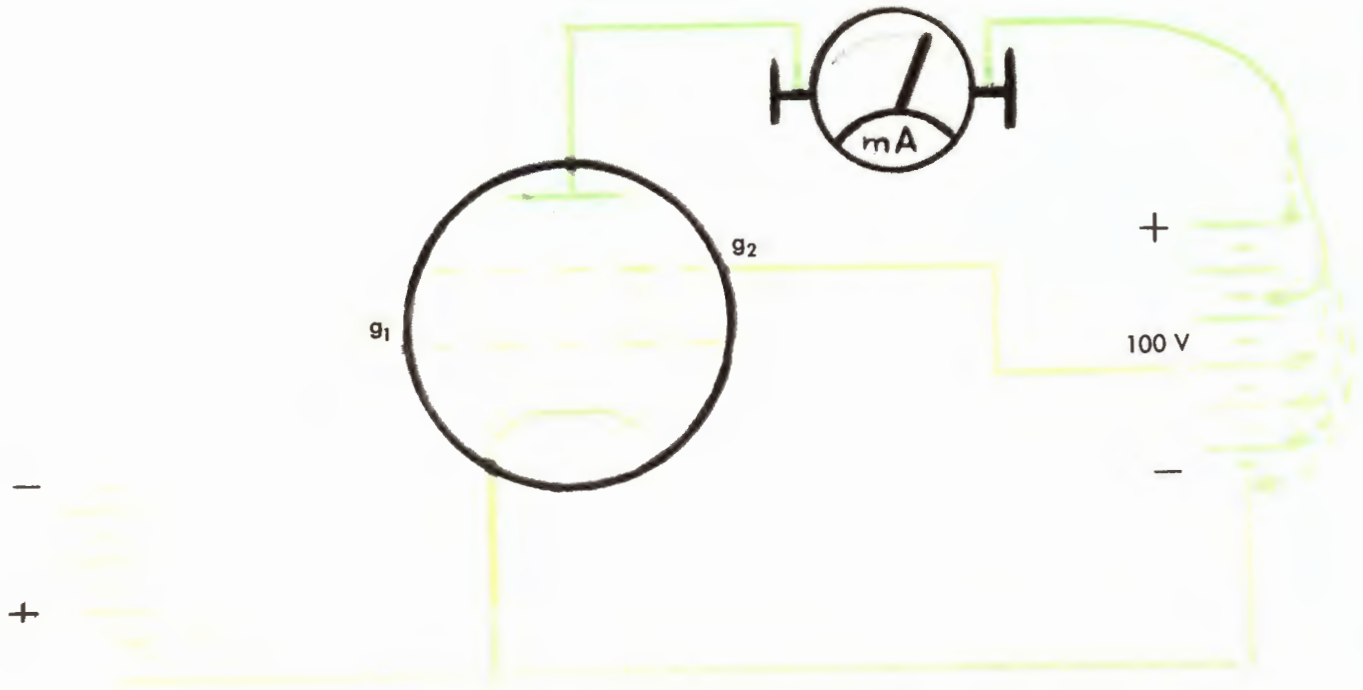
La propiedad de poseer características con resistencia negativa no es exclusiva de los tetrodos, sino que se extiende a otros muchos dispositivos



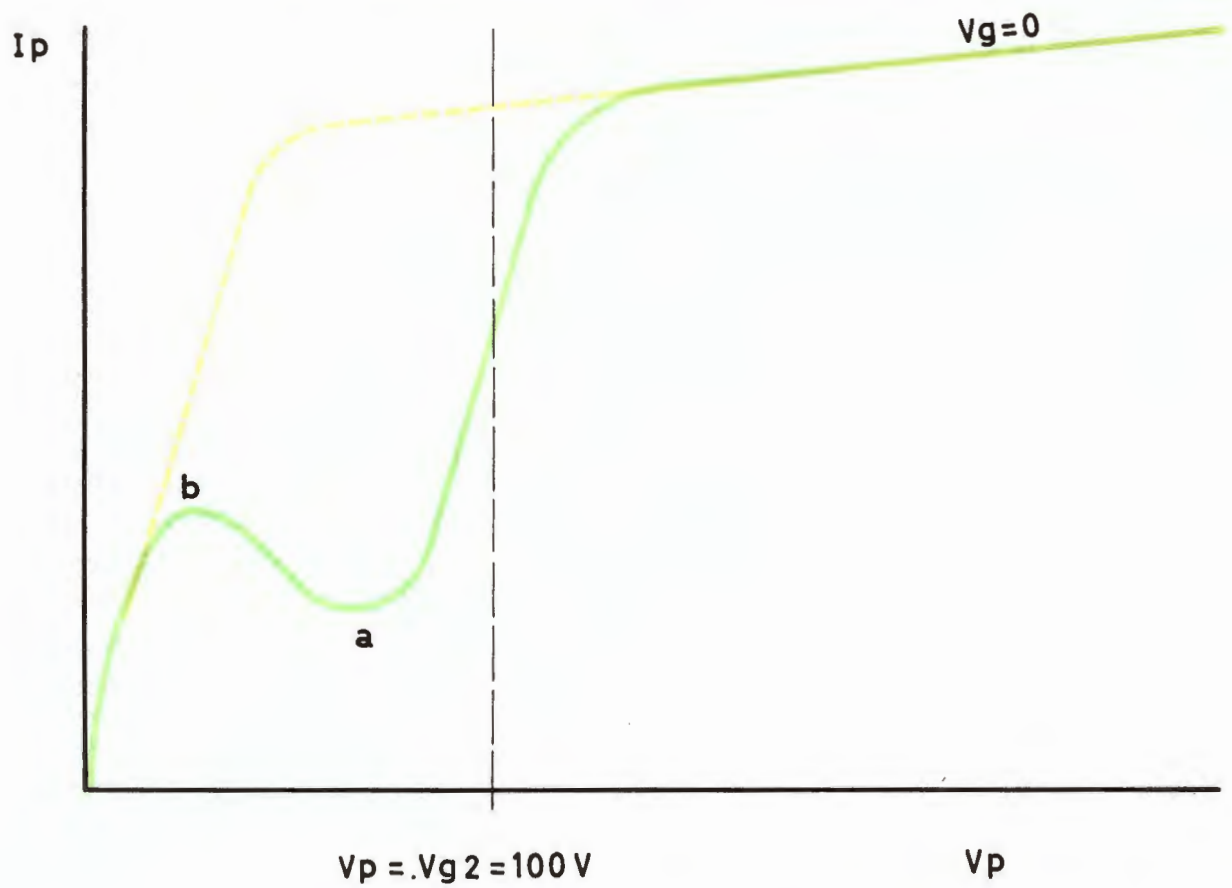
Estableciendo un potencial fijo para V_{g2} (100 V en el ejemplo) y variando V_p de cero a 300 V, anotaremos el valor de I_p para cada valor de V_p.



Esta es la forma aproximada que adopta la característica $V_g = 0$ del tetrodo. Advierta que las diferencias corresponden a valores de V_p cercanos al de V_{g2} e inferiores a él.



Estableciendo un potencial fijo para V_{g2} (100 V en el ejemplo) y variando V_p de cero a 300 V, anotaremos el valor de I_p para cada valor de V_p.



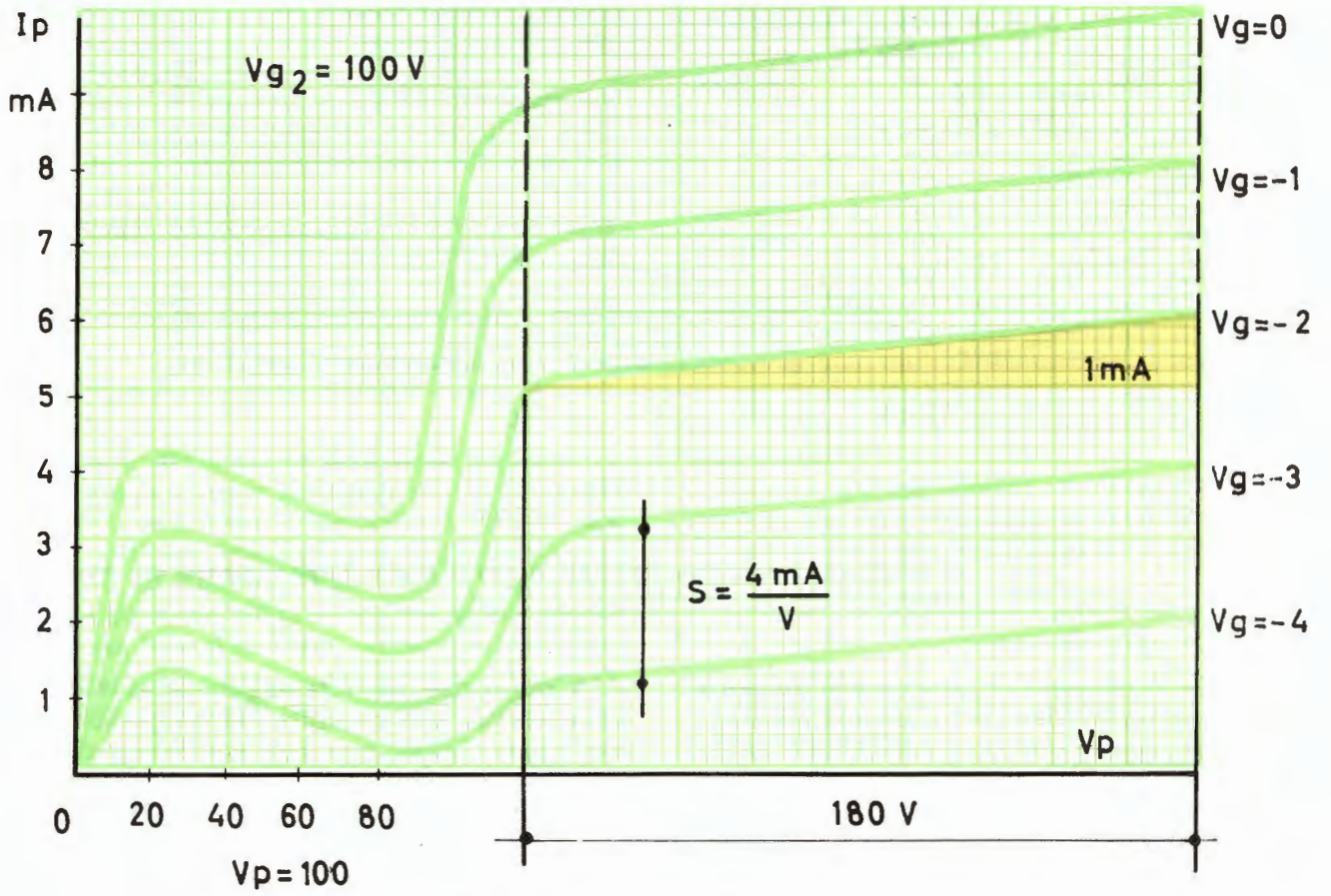
Esta es la forma aproximada que adopta la característica $V_g = 0$ del tetrodo. Advierta que las diferencias corresponden a valores de V_p cercanos al de V_{g2} e inferiores a él.

electrónicos que por poseerla se utilizan en la construcción de osciladores...

Pero dejemos eso, que ya tendremos ocasión de tratarlo. Por el momento basta con advertir que el tetrodo posee esta curiosa propiedad, de la que volveremos a tratar.

Hemos sacado todas las conclusiones de la característica $V_g = 0$; nos ha bastado para nuestros fines inmediatos, pero es evidente que siguiendo el mismo sistema con otras tensiones de polarización obtendríamos las distintas características de placa del tetrodo ideal. Bastaría trabajar con $V_g = -1$, $V_g = -2$, $V_g = -3$, etc. Puede ver las características de placa del tetrodo ideal trazadas suponiendo que g_2 se ha conectado a un potencial fijo de 100 V. Es decir; suponemos que $Vg_2 = 100$ V.

Este dato (V_{g2}) es necesario que conste en el gráfico, ya que para cada tensión de la rejilla pantalla tendremos unas características distintas.



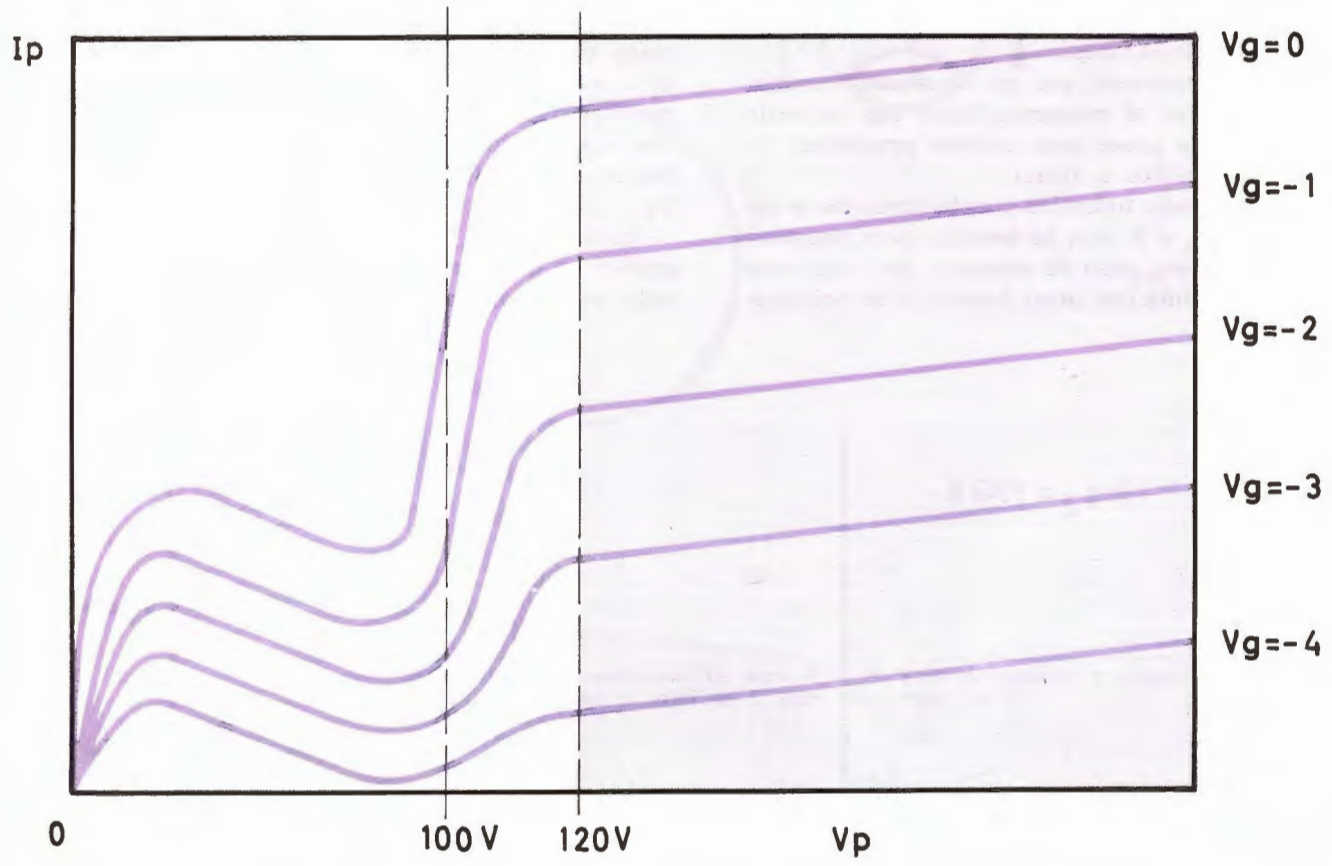
Características de placa del tetrodo ideal, cuando $V_{g2} = 100$ V.

EL TETRODO COMO AMPLIFICADOR. PARAMETROS

No olvide la finalidad que se buscaba al añadir una nueva rejilla al triodo: encontrar una nueva válvula (el tetrodo) que permitiese la obtención de señales amplificadas sin distorsión y con la mayor amplitud posible *incluso con reducidas tensiones de placa.*

Basta con observar las características del tetrodo ideal para comprender que estamos bastante lejos de haber logrado el fin propuesto. En cuanto el potencial de placa V_p se aproxima al de la pantalla (100 V en nuestro ejemplo) las características dejan de ser regulares.

Sólo a partir de unos 120 V en placa podemos considerar que las características son rectas y paralelas. En consecuencia, sólo cuando trabaje en esta zona lo hará sin distorsión.



El tetrodo sólo funciona sin distorsión cuando la tensión de placa permite que trabaje en la zona limitada por el color.

En resumen: que, en contra de todo pronóstico (la electrónica tiene estas bromas pesadas), el tetrodo, considerado como amplificador de potencia, está en desventaja frente al triodo.

¿Había fracasado la ciencia...? Rotundamente, no. Algo había fallado en la hipótesis planteada, porque unos resultados tan dispares sólo pueden explicarse por un planteo incompleto de las premisas en que se apoyaba la hipótesis. Debía encontrarse la causa del desaguisado y ponerle remedio.

El remedio consistió en añadir una nueva rejilla a la válvula: había nacido el pentodo.

Pero antes de entrar en detalles del porqué del sorprendente funcionamiento del tetrodo, veamos si tal válvula, tal y como la hemos concebido, puede prestar algun servicio específico, aunque no sea como válvula de potencia. Nunca debe arrojarse por la borda un trabajo de investigación sin antes haber cotejado los pros y contras del resultado obtenido.

Y puesto que todo este tinglado se ha montado para intentar una mejora en el comportamiento del triodo, bueno será que nos dediquemos a comparar los parámetros de ambas válvulas.

Sabemos que los triodos se caracterizan por tres parámetros, o magnitudes constantes: LA PENDIENTE S, LA RESISTENCIA INTERNA R_p y EL COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN μ. También hemos estudiado la forma de indicar estos parámetros sobre las características de placa del triodo.

Pues bien; lo mismo puede hacerse con el tetrodo, siempre que se midan los tres coeficientes sobre la porción recta de sus características. Es decir: en aquella porción que hemos definido como utilizable sin distorsión.

Vuelva a las características del tetrodo ideal y verá que en ellas hemos añadido las oportunas indicaciones para deducir los tres parámetros.

PENDIENTE. En las características a que nos referimos queda indicado que manteniendo fija la tensión de placa (a 160 V por ejemplo), cuando

la tensión de la rejilla de control varía de $V_g = -4$ a $V_g = -3$, la intensidad de placa I_p variará desde 1'2 mA a 3'2 mA.

Es decir:

$$S = \frac{3'2 - 1'2}{4 - 3} = 2 \text{ mA/V}$$

La pendiente del tetrodo ideal es la misma que habíamos encontrado para el triodo. ¿Absurdo? No; absolutamente lógico, si se tiene en cuenta que la pendiente sólo depende de la influencia que ejerce la rejilla de control en los electrones de la carga de espacio y que la adición de la rejilla pantalla en nada ha influido sobre la relación que mantienen los dos electrodos citados, o sea, cátodo y rejilla de control.

RESISTENCIA INTERNA. En las características que nos ocupan puede apreciarse que si mantenemos la rejilla de control a un potencial constante ($V_g = -2$ V, por ejemplo), y variamos V_p desde 120 V hasta 300 V (variación de 180 V), la intensidad habrá variado de 5 mA, hasta 6 mA; es decir: sólo 1 mA.

Por tanto, la resistencia interna será:

$$R_p = \frac{300 - 120}{6 - 5} \times 1000 = 180000 \ \Omega$$

Aquí la diferencia es notable: el tetrodo presenta una resistencia interna mucho más elevada que el triodo (recuerde que era de 17500 Ω). ¿Qué puede significar este aumento de la resistencia? Sólo que, en el tetrodo, la placa ejerce una influencia mucho menor sobre los electrones que rodean el cátodo, fenómeno lógico, puesto que entre ambos electrodos hemos interpuesto una nueva rejilla que actúa como una verdadera pantalla (de ahí su nombre).

COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN. Veamos qué ocurre con el último de los parámetros.

Para calcularlo directamente sobre las características de placa del tetrodo, hace falta que una misma recta horizontal corte dos características consecutivas, cosa que en nuestro gráfico no puede cumplirse por la sencillísima razón de no haber prolongado las características más allá de $V_p = 300$ V.

Sin embargo, recordemos que basta conocer dos parámetros para obtener el tercero, dado que entre ellos existe la siguiente relación...

$$\mu = R_p \times S$$

... cuando R_p se expresa en ohmios y S en amperios por voltio.

Por tanto, siendo, para el tetrodo ideal, $S = 2$ mA/V $= 0'002$ A/V y $R_p = 180000$ Ω, tendremos:

$$\mu = 180000 \times 0'002 = 360$$

El tetrodo tiene un coeficiente de amplificación que es aproximadamente diez veces mayor que el del triodo ($\mu = 35$).

He ahí una agradable sorpresa que nos tenía reservada nuestro tetrodo, ya que (usted lo recordará perfectamente) EL COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE UNA VÁLVULA REPRESENTA LA MÁXIMA GANANCIA DE TENSIÓN QUE CON ELLA PODEMOS OBTENER, cosa que ocurre cuando la resistencia de carga es muy grande.

Resulta que con nuestro tetrodo podremos obtener ganancias mucho más elevadas que con el triodo, siempre que lo utilicemos como amplificador de tensión.

¿Se da cuenta de cómo la ciencia no puede dar nada por inútil sin antes haber apurado todos sus recursos?

Buscando una cualidad hemos encontrado otra. ¡Bien venida sea!

EL TETRODO ES UN EXCELENTE AMPLIFICADOR DE TENSIÓN.

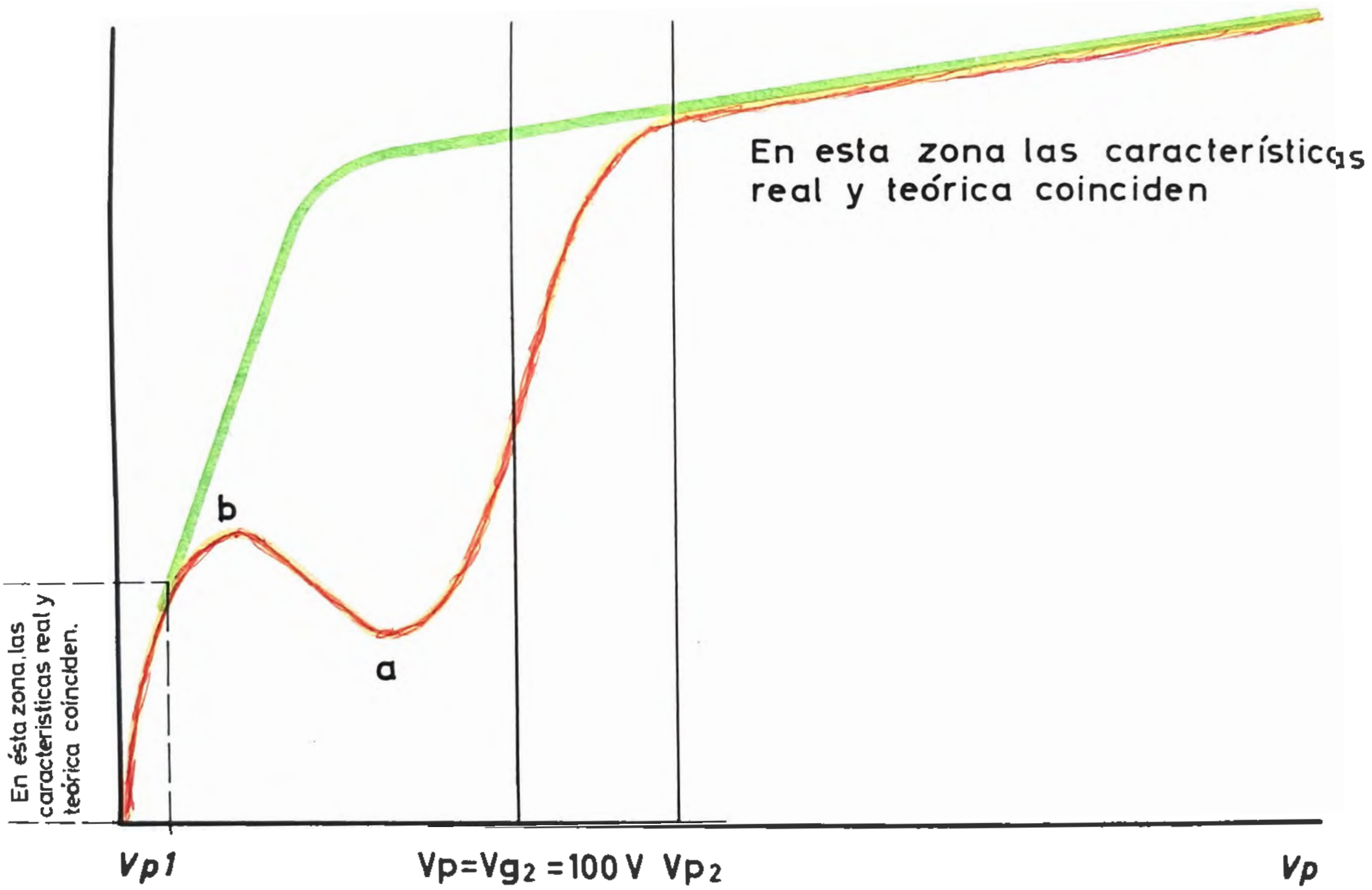
LA EMISION SECUNDARIA

Bien está que hayamos convertido en éxito lo que en principio fue un fracaso; pero no por ello debemos olvidar que tal fracaso existe, por cuanto no hemos logrado lo que ha motivado la experiencia del tetrodo: encontrar la válvula adecuada para obtener potencias elevadas con tensiones de placa relativamente bajas.

Ha llegado el momento de preguntarse: ¿a qué se debe el curioso comportamiento del tetrodo?

Si superponemos la característica real del tetrodo para $V_g = 0$ y la característica que habíamos deducido por hipótesis, nos daremos cuenta de que ambas curvas coinciden para tensiones de placa elevadas (a partir de V_{p_2} en nuestro gráfico) y para tensiones de placa muy pequeñas (desde 0 V a V_{p_1} en el gráfico). En otras palabras: para V_p elevado y para V_p muy pequeño, el comportamiento real del tetrodo se ajusta al que se

ha deducido siguiendo un razonamiento lógico. Pero en la zona comprendida entre V_{p1} y V_{p2} hay una tremenda diferencia entre lo previsto y lo obtenido. En esta zona la intensidad I_p es menor de lo que habíamos previsto, con la circunstancia paradójica de encontrarnos con una zona (entre *a* y *b* en el ejemplo) donde aumenta I_p al disminuir V_p.



En este gráfico quedan bien patentes las diferencias existentes entre el comportamiento real del tetrodo y el comportamiento que para él habíamos previsto.

Las razón de estas anomalías está en un fenómeno que podemos descubrir no ya en el tetrodo, sino en el mismo triodo. Si no lo hemos percibido al estudiar el triodo, atribúyalo a que, en esta válvula, no tiene la menor influencia. Nos referimos al fenómeno de la emisión secundaria.

Sabemos que los metales sometidos a elevadas temperaturas emiten electrones en cantidad apreciable. Es el fenómeno de la emisión termoiónica, con la que estamos familiarizados. Así actúa el cátodo de las válvulas de vacío, recuérdelo.

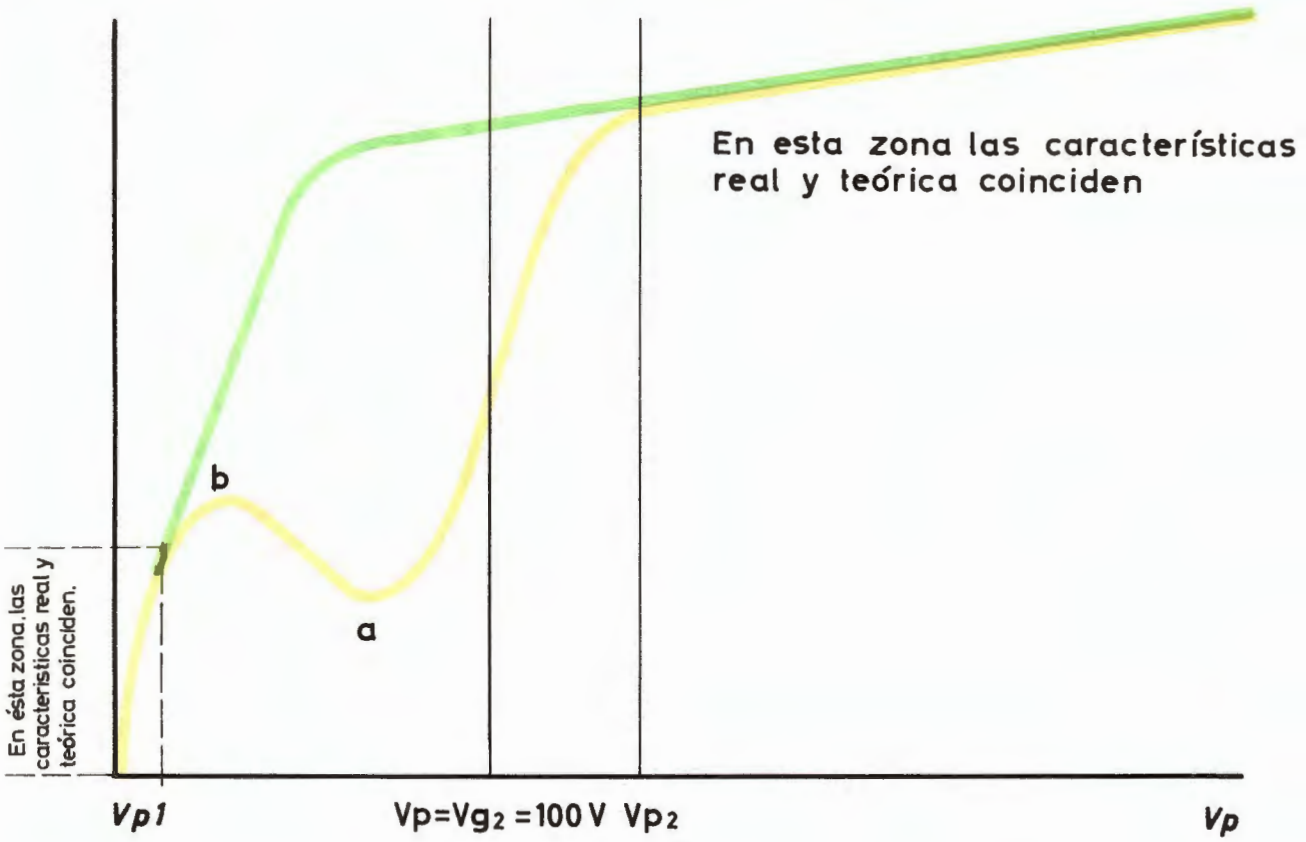
Pero el efecto termoiónico no es la única causa que puede provocar la emisión de electrones por parte de un metal. Existen otras causas físicas capaces de conseguir el mismo efecto, una de las cuales consiste en bombardear una superficie metálica con un chorro de electrones lanzados a gran velocidad.

Pensemos lo que puede suceder cuando uno de estos electrones alcanza la superficie del metal.

En principio, es muy posible que, gracias a la velocidad alcanzada, el electrón penetre en el interior del metal, donde perderá su energía a medida que vaya chocando contra los núcleos atómicos. Ocurrirá algo similar a lo que sucede con las bolas de billar. La bola impulsada por el taco choca con las demás y las impulsa en distinta dirección, con mayor o menor fuerza, según la energía aplicada a la bola primaria.

Pues bien: si este electrón que, gracias a su gran velocidad, ha penetrado en el interior del

ha deducido siguiendo un razonamiento lógico. Pero en la zona comprendida entre V_{p1} y V_{p2} hay una tremenda diferencia entre lo previsto y lo obtenido. En esta zona la intensidad I_p es menor de lo que habíamos previsto, con la circunstancia paradójica de encontrarnos con una zona (entre *a* y *b* en el ejemplo) donde aumenta I_p al disminuir V_p.



En este gráfico quedan bien patentes las diferencias existentes entre el comportamiento real del tetrodo y el comportamiento que para él habíamos previsto.

Las razón de estas anomalías está en un fenómeno que podemos descubrir no ya en el tetrodo, sino en el mismo triodo. Si no lo hemos percibido al estudiar el triodo, atribúyalo a que, en esta válvula, no tiene la menor influencia. Nos referimos al fenómeno de la emisión secundaria.

Sabemos que los metales sometidos a elevadas temperaturas emiten electrones en cantidad apreciable. Es el fenómeno de la emisión termoiónica, con la que estamos familiarizados. Así actúa el cátodo de las válvulas de vacío, recuérdelo.

Pero el efecto termoiónico no es la única causa que puede provocar la emisión de electrones por parte de un metal. Existen otras causas físicas capaces de conseguir el mismo efecto, una de las cuales consiste en bombardear una superficie metálica con un chorro de electrones lanzados a gran velocidad.

Pensemos lo que puede suceder cuando uno de estos electrones alcanza la superficie del metal.

En principio, es muy posible que, gracias a la velocidad alcanzada, el electrón penetre en el interior del metal, donde perderá su energía a medida que vaya chocando contra los núcleos atómicos. Ocurrirá algo similar a lo que sucede con las bolas de billar. La bola impulsada por el taco choca con las demás y las impulsa en distinta dirección, con mayor o menor fuerza, según la energía aplicada a la bola primaria.

Pues bien: si este electrón que, gracias a su gran velocidad, ha penetrado en el interior del

metal choca con uno o más electrones de la estructura atómica, puede ocurrir que la fuerza con que tenga lugar esta especie de carambola electrónica sea suficiente para expulsar al exterior el electrón que ha recibido el impacto.

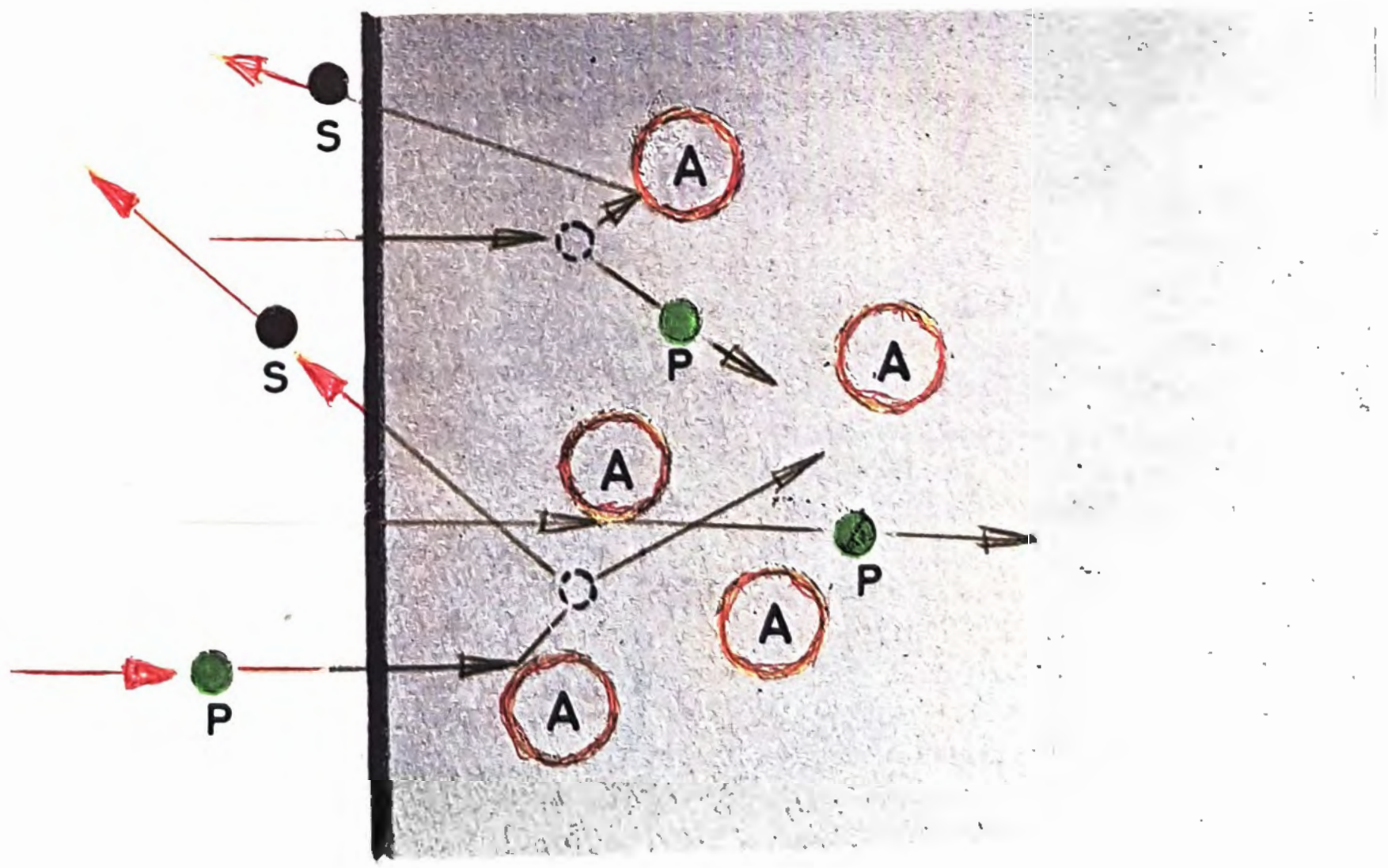
Apliquemos esta explicación no a un solo electrón, sino a un haz de electrones, que denominaremos electrones primarios y con los cuales bombardcaremos el metal. Es evidente que las posibilidades de expulsión de los electrones interiores aumentarán a medida que aumente el número de electrones primarios.

Es lógico que llamemos electrones secundarios a los que emite el metal bombardeado; y por analogía emisión secundaria a la que obtenemos cuando percute sobre un metal un haz de electrones procedentes de una emisión primaria.

Los electrones secundarios, por supuesto, salen del metal bombardeado con una velocidad mucho menor que la que llevan los electrones primarios. La emisión secundaria se da siempre por el mismo lado por donde penetran, ya que las colisiones descritas tienen lugar en la zona más superficial del metal.

No todos los electrones primarios que llegan al metal consiguen provocar una emisión secundaria; pero puede darse el caso de que un solo electrón, por carambola, proporcione dos o más electrones secundarios.

El número de electrones secundarios que se consigue depende de la cantidad de electrones primarios lanzados sobre el metal, lo hemos dicho ya; pero no sólo del número, sino también de la velocidad con que se lancen sobre el blanco, pues ya se comprende que si el choque entre un electrón primario y uno secundario no es suficientemente enérgico, el secundario no conseguirá escapar del cuerpo metálico.



En este dibujo se intenta representar gráficamente el fenómeno de la emisión secundaria. Cuando el electrón primario P choca con el núcleo A, se desvía y encuentra el electrón secundario S el cual es desplazado.

metal choca con uno o más electrones de la estructura atómica, puede ocurrir que la fuerza con que tenga lugar esta especie de carambola electrónica sea suficiente para expulsar al exterior el electrón que ha recibido el impacto.

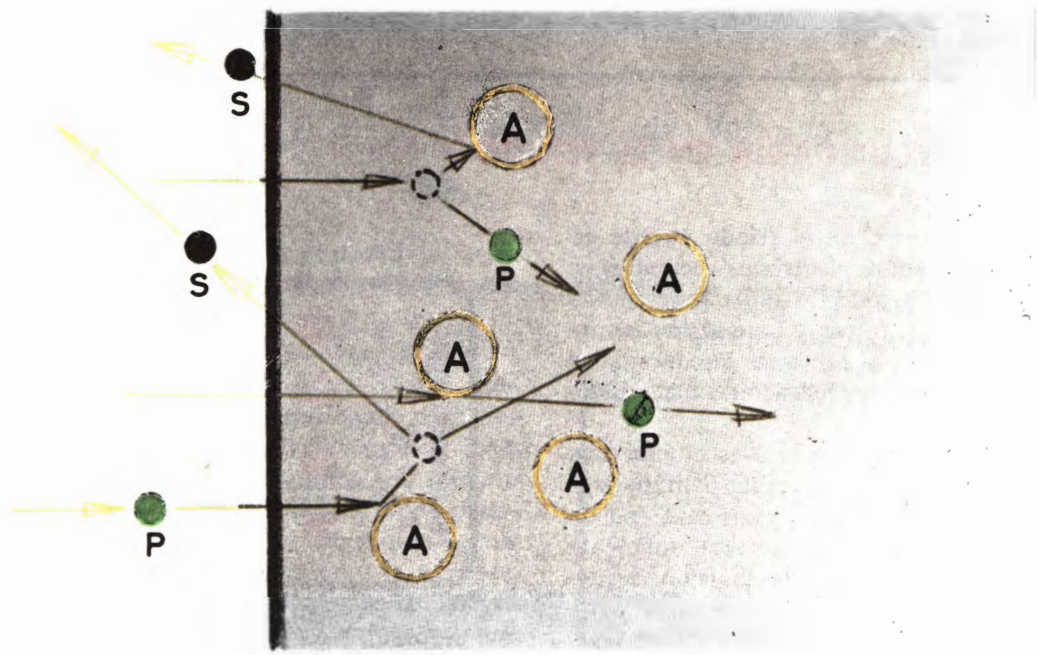
Apliquemos esta explicación no a un solo electrón, sino a un haz de electrones, que denominaremos electrones primarios y con los cuales bombardearemos el metal. Es evidente que las posibilidades de expulsión de los electrones interiores aumentarán a medida que aumente el número de electrones primarios.

Es lógico que llamemos electrones secundarios a los que emite el metal bombardeado; y por analogía emisión secundaria a la que obtenemos cuando percute sobre un metal un haz de electrones procedentes de una emisión primaria.

Los electrones secundarios, por supuesto, salen del metal bombardeado con una velocidad mucho menor que la que llevan los electrones primarios. La emisión secundaria se da siempre por el mismo lado por donde penetran, ya que las colisiones descritas tienen lugar en la zona más superficial del metal.

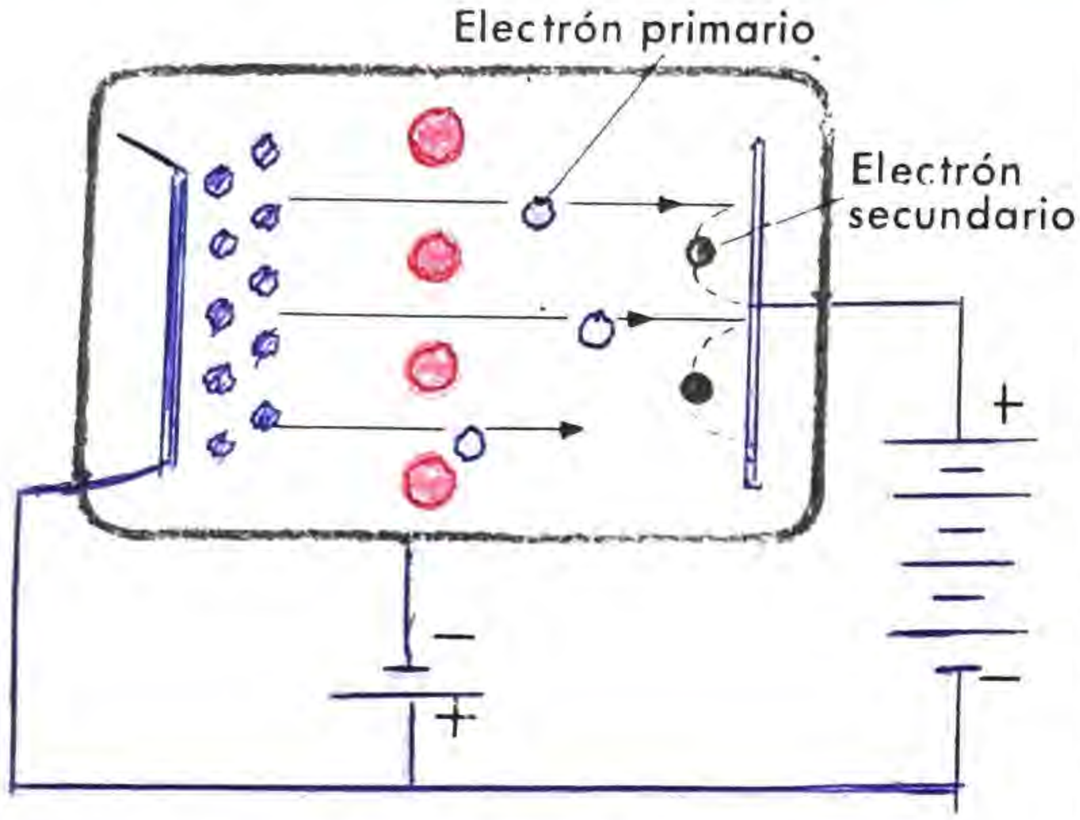
No todos los electrones primarios que llegan al metal consiguen provocar una emisión secundaria; pero puede darse el caso de que un solo electrón, por carambola, proporcione dos o más electrones secundarios.

El número de electrones secundarios que se consigue depende de la cantidad de electrones primarios lanzados sobre el metal, lo hemos dicho ya; pero no sólo del número, sino también de la velocidad con que se lancen sobre el blanco, pues ya se comprende que si el choque entre un electrón primario y uno secundario no es suficientemente enérgico, el secundario no conseguirá escapar del cuerpo metálico.



En este dibujo se intenta representar gráficamente el fenómeno de la emisión secundaria. Cuando el electrón primario P choca con el núcleo A, se desvía y encuentra el electrón secundario S el cual es desplazado.

LA EMISION SECUNDARIA EN LOS TRIODOS



Emisión secundaria en el triodo. Mientras la placa sea positiva los electrones secundarios serán inmediatamente absorbidos por ella.

Mientras la placa de un triodo en funcionamiento conserva potencial positivo, se ve constantemente bombardeado por los electrones que proceden del cátodo. Por consiguiente se produce una emisión secundaria; la placa emite electrones secundarios.

Pero la libertad de los electrones secundarios salidos de la placa es muy exigua. Tan pronto como han abandonado la superficie, se ven repelidos por el potencial negativo de la rejilla y atraídos por el potencial positivo de la placa. El resultado es que regresan inmediatamente a la placa, con la rapidez propia de todo lo que se debe a movimientos electrónicos.

El fenómeno de la emisión secundaria existe realmente en el triodo, pero sin que los electrones secundarios alcancen a modificar el funcionamiento de la válvula. De ahí que no hayamos advertido la existencia de este fenómeno cuando nos dedicábamos al estudio del triodo.

LA EMISION SECUNDARIA EN EL TETRODO

Lo mismo que ocurre en el triodo sucede en el tetrodo: su placa emite electrones secundarios.

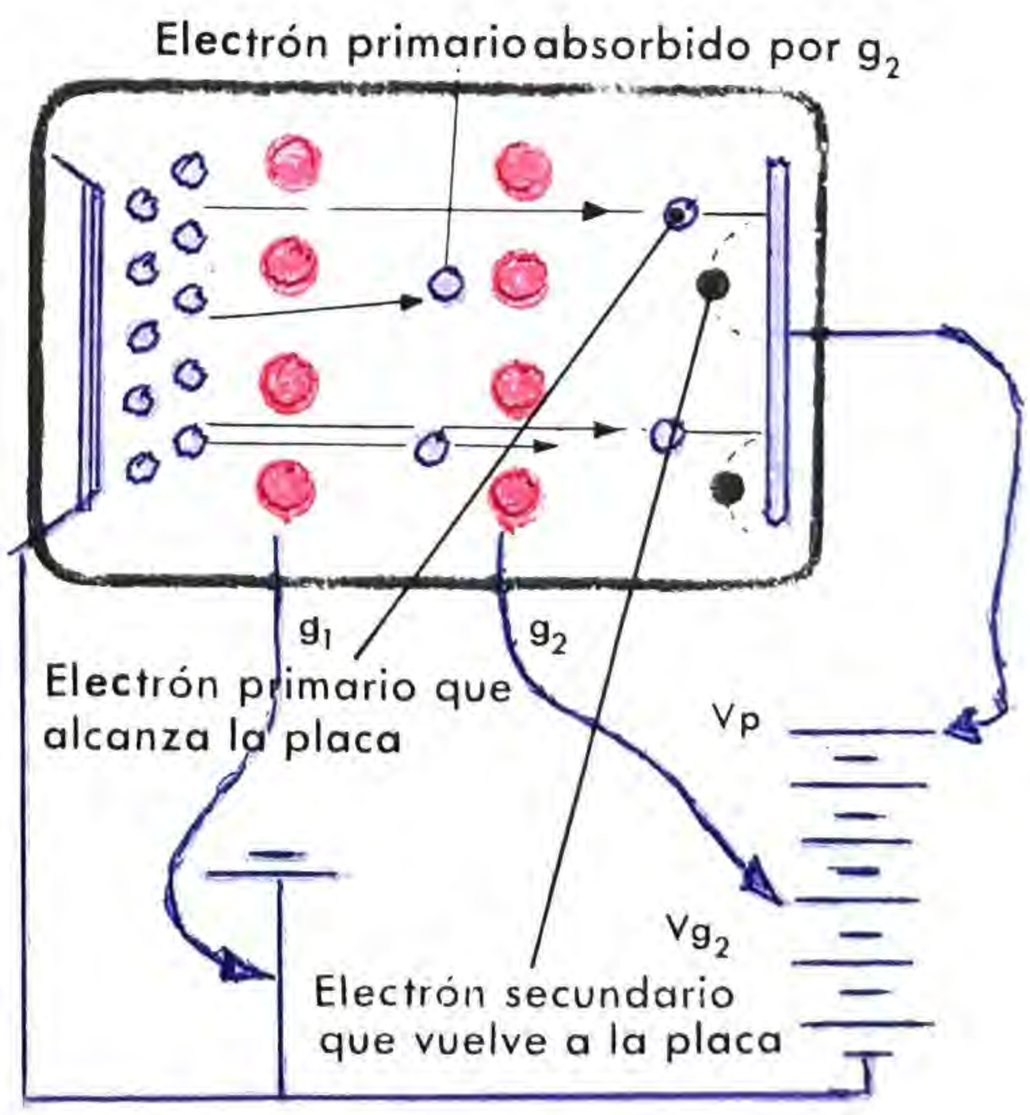
Pero lo que en el triodo no tenía repercusión alguna, sí la tiene en el tetrodo. La emisión secundaria, en el tetrodo, es la causa de las anomalías que encontrábamos en sus características. Estudiemos la causa:

1. Cuando el potencial de placa es mucho más positivo que el potencial de la rejilla pantalla V_{g2}.

En estas condiciones llegará gran cantidad de electrones hasta la placa, con velocidad suficiente para provocar una considerable emisión secundaria.

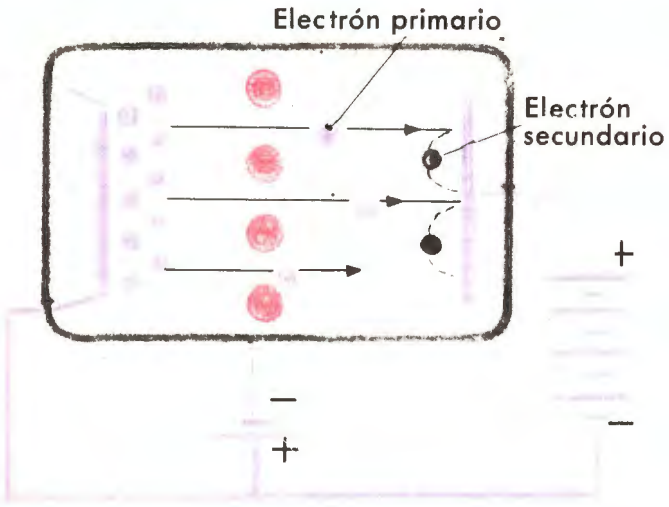
La tendencia de los electrones secundarios será, sin duda, apartarse de la placa; pero se da el caso de que la placa de donde salen es mucho más positiva que la rejilla pantalla (electrodo más próximo a la placa), y por tanto su poder de atracción sobre los electrones secundarios es también mucho mayor.

¿Resultado...? Que los electrones secundarios regresan inmediatamente a la placa; es como si la emisión secundaria no existiese y el tetrodo se comporta tal y como habíamos previsto, sin tener en cuenta aún la existencia de la emisión secundaria.



Cuando V_p es mayor que V_{g2} todos los electrones secundarios vuelven a la placa.

LA EMISION SECUNDARIA EN LOS TRIODOS



Emisión secundaria en el triodo. Mientras la placa sea positiva los electrones secundarios serán inmediatamente absorbidos por ella.

Mientras la placa de un triodo en funcionamiento conserva potencial positivo, se ve constantemente bombardeado por los electrones que proceden del cátodo. Por consiguiente se produce una emisión secundaria; la placa emite electrones secundarios.

Pero la libertad de los electrones secundarios salidos de la placa es muy exigua. Tan pronto como han abandonado la superficie, se ven repelidos por el potencial negativo de la rejilla y atraídos por el potencial positivo de la placa. El resultado es que regresan inmediatamente a la placa, con la rapidez propia de todo lo que se debe a movimientos electrónicos.

El fenómeno de la emisión secundaria existe realmente en el triodo, pero sin que los electrones secundarios alcancen a modificar el funcionamiento de la válvula. De ahí que no hayamos advertido la existencia de este fenómeno cuando nos dedicábamos al estudio del triodo.

LA EMISION SECUNDARIA EN EL TETRODO

Lo mismo que ocurre en el triodo sucede en el tetrodo: su placa emite electrones secundarios.

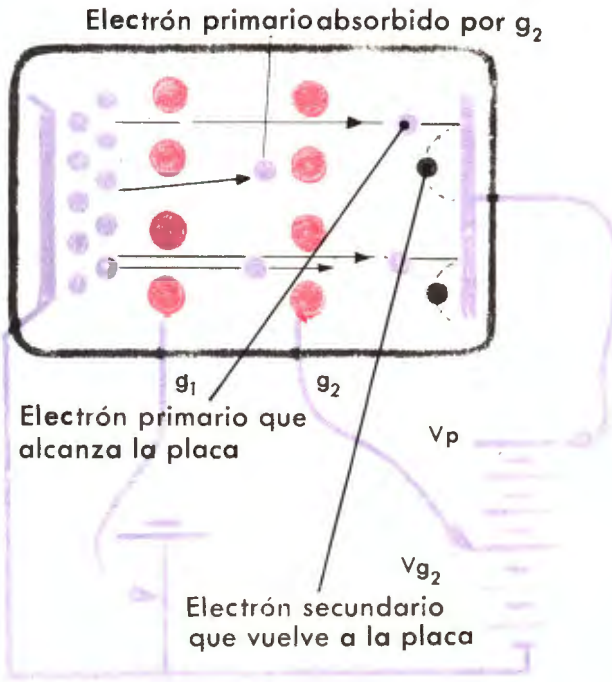
Pero lo que en el triodo no tenía repercusión alguna, sí la tiene en el tetrodo. La emisión secundaria, en el tetrodo, es la causa de las anomalías que encontrábamos en sus características. Estudiemos la causa:

1. Cuando el potencial de placa es mucho más positivo que el potencial de la rejilla pantalla V_{g2}.

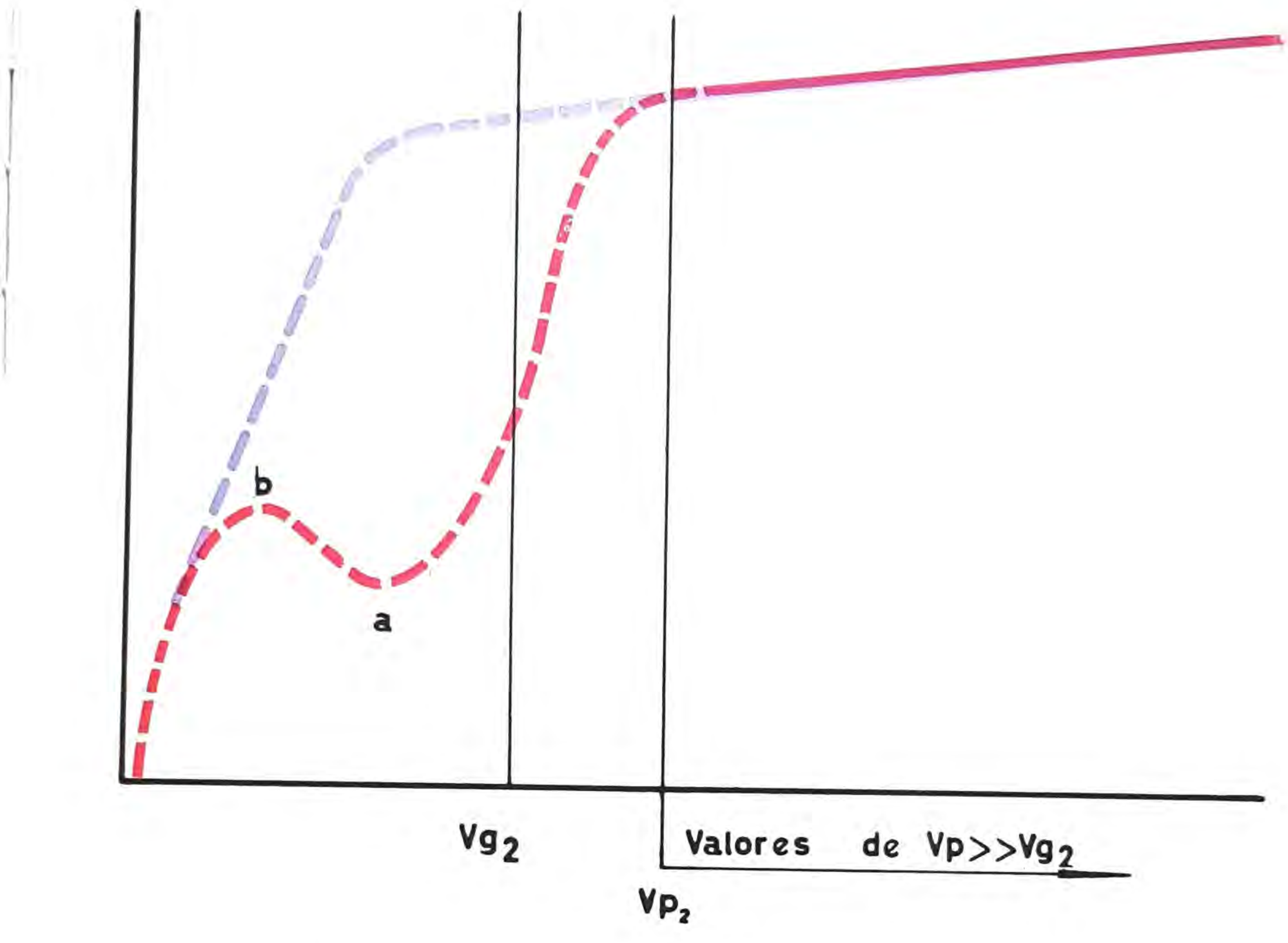
En estas condiciones llegará gran cantidad de electrones hasta la placa, con velocidad suficiente para provocar una considerable emisión secundaria.

La tendencia de los electrones secundarios será, sin duda, apartarse de la placa; pero se da el caso de que la placa de donde salen es mucho más positiva que la rejilla pantalla (electrodo más próximo a la placa), y por tanto su poder de atracción sobre los electrones secundarios es también mucho mayor.

¿Resultado...? Que los electrones secundarios regresan inmediatamente a la placa; es como si la emisión secundaria no existiese y el tetrodo se comporta tal y como habíamos previsto, sin tener en cuenta aún la existencia de la emisión secundaria.



Cuando V_p es mayor que V_{g2} todos los electrones secundarios vuelven a la placa.

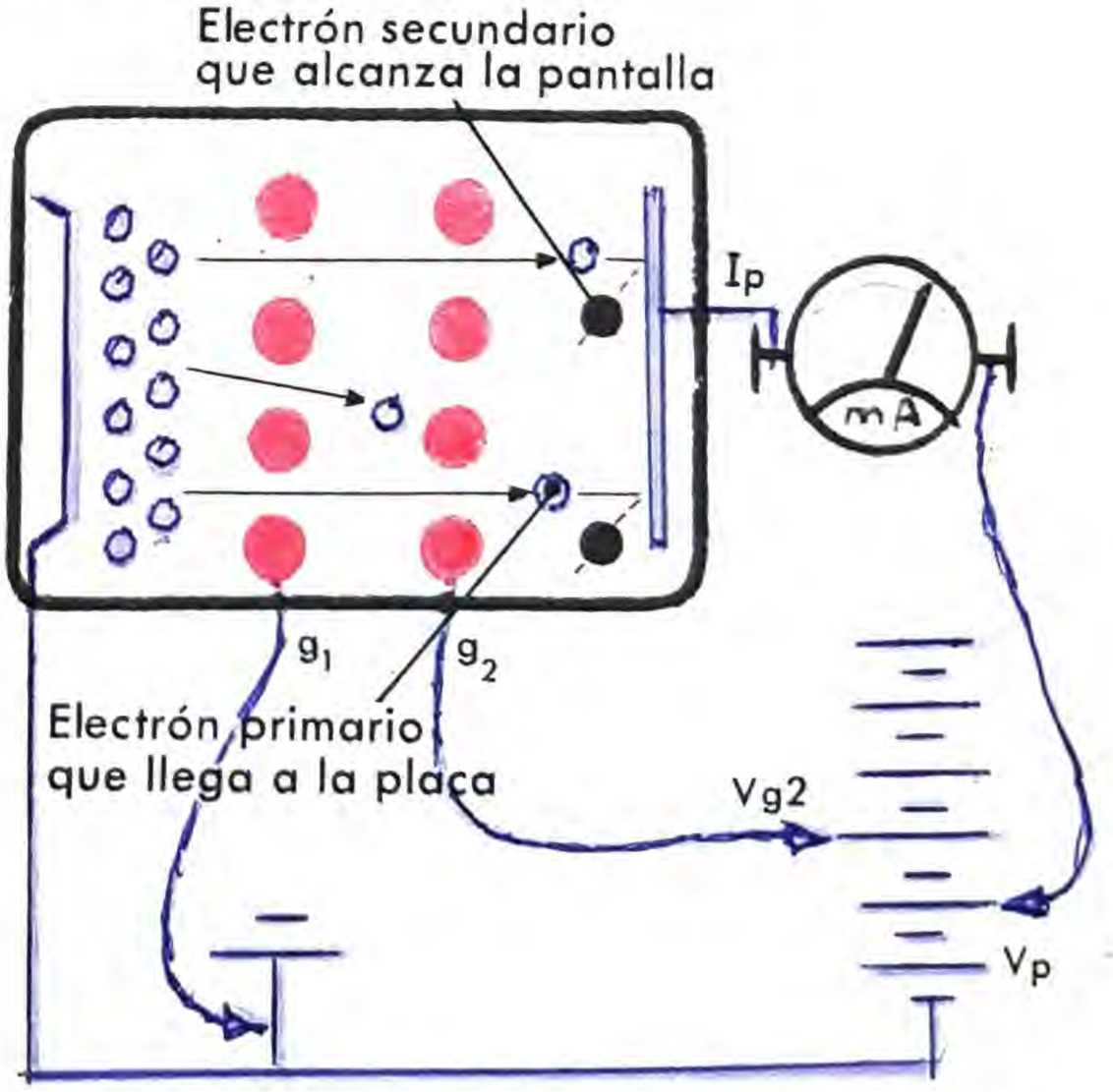


La zona de la característica que se destaca corresponde al comportamiento simbolizado en la figura anterior.

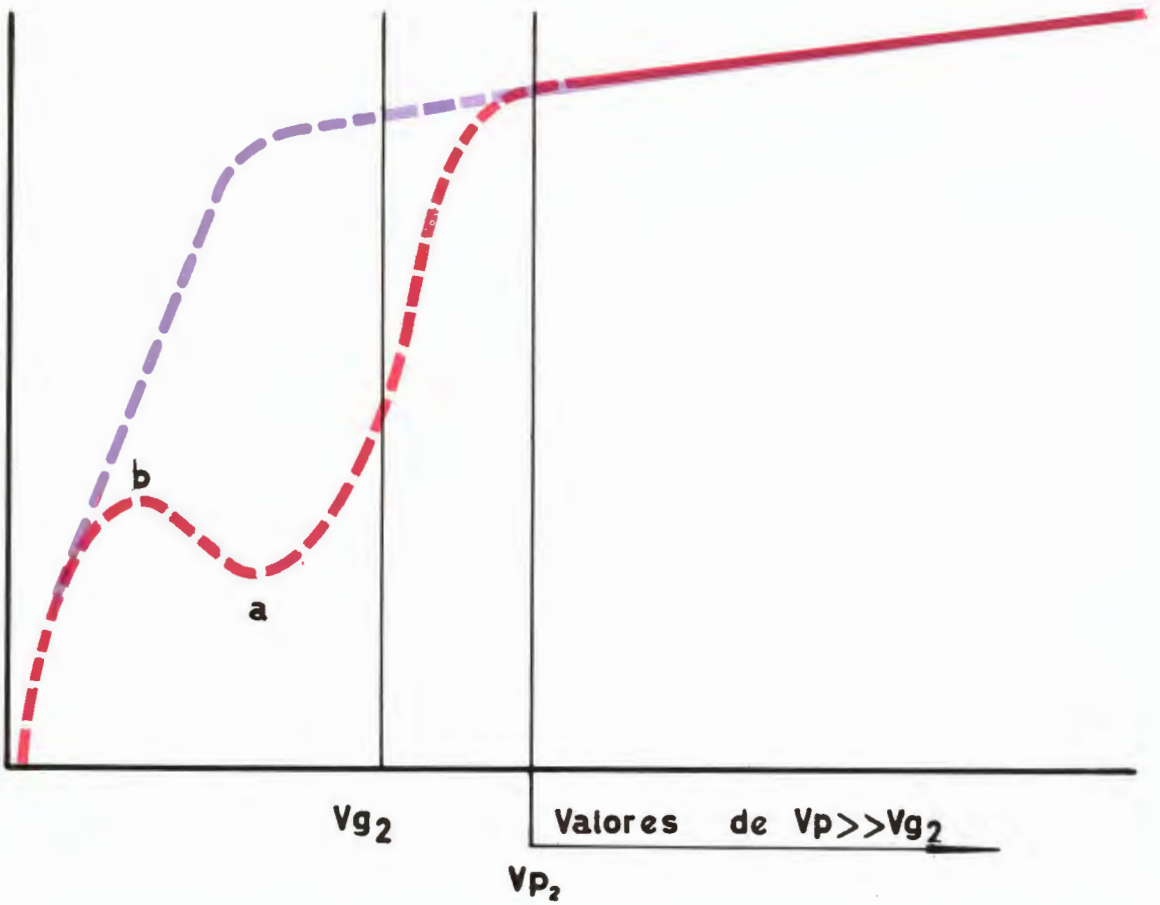
2. Si damos al potencial de placa valores cada vez más pequeños, hasta hacerlo igual o menor que V_{g_2}, los electrones secundarios salidos de la placa llegarán a alcanzar la pantalla, en número creciente a medida que baja el potencial de placa.

Para conseguir que todos los electrones secundarios que salen de la placa lleguen a la pantalla, no es suficiente que la placa llegue a igualar su potencial con el de g_2. No basta con que se cumpla que $V_p = V_{g_2}$; debe llegar a ser V_p algo menor que V_{g_2}, pues debemos tener en cuenta que los electrones primarios tienden a impedir el movimiento de los secundarios hacia la pantalla. Es así por cuanto son cargas del mismo signo que se repelen.

Cuando la placa alcanza el potencial del punto *a* de la característica, podemos considerar que todos los electrones secundarios llegarán a la pantalla. Esta es la razón por la cual la corriente de placa baja muchísimo más de lo que esperábamos.



En este gráfico se supone que el valor de V_p es el correspondiente al punto "a".

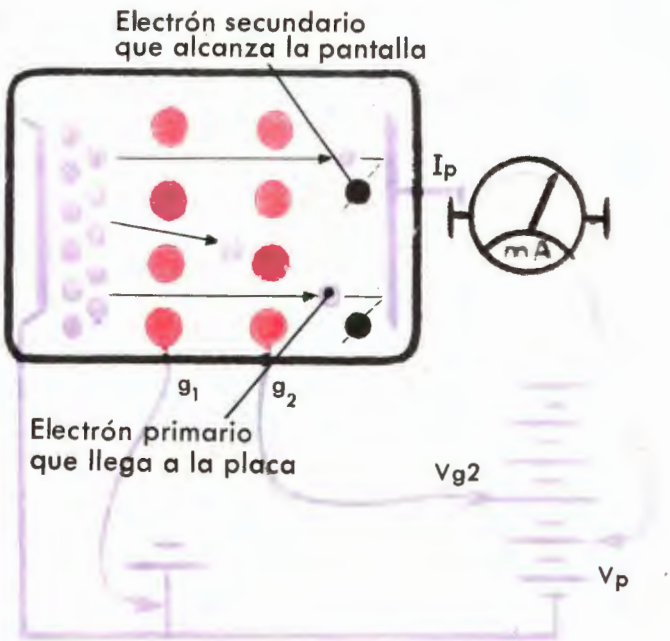


La zona de la característica que se destaca corresponde al comportamiento simbolizado en la figura anterior.

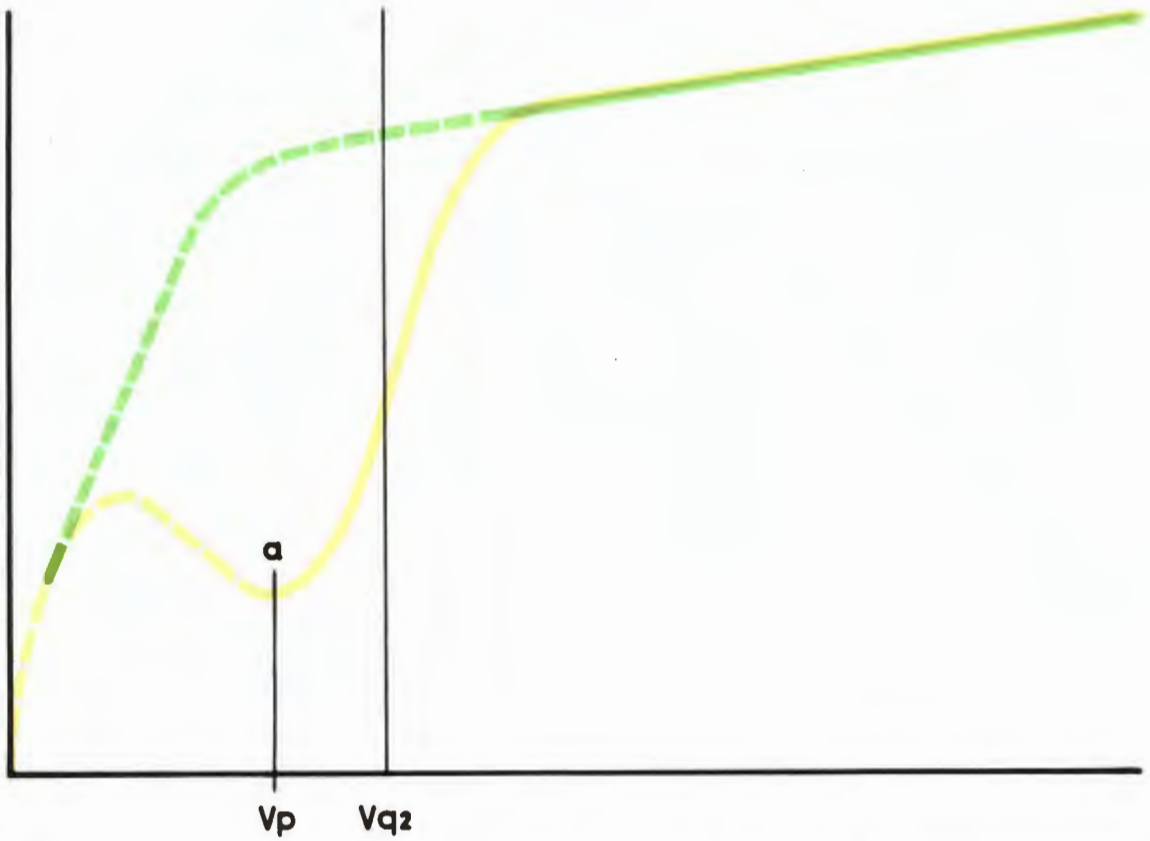
2. Si damos al potencial de placa valores cada vez más pequeños, hasta hacerlo igual o menor que V_{g2}, los electrones secundarios salidos de la placa llegarán a alcanzar la pantalla, en número creciente a medida que baja el potencial de placa.

Para conseguir que todos los electrones secundarios que salen de la placa lleguen a la pantalla, no es suficiente que la placa llegue a igualar su potencial con el de g_2. No basta con que se cumpla que $V_p = V_{g2}$; debe llegar a ser V_p algo menor que V_{g2}, pues debemos tener en cuenta que los electrones primarios tienden a impedir el movimiento de los secundarios hacia la pantalla. Es así por cuanto son cargas del mismo signo que se repelen.

Cuando la placa alcanza el potencial del punto *a* de la característica, podemos considerar que todos los electrones secundarios llegarán a la pantalla. Esta es la razón por la cual la corriente de placa baja muchísimo más de lo que esperábamos.



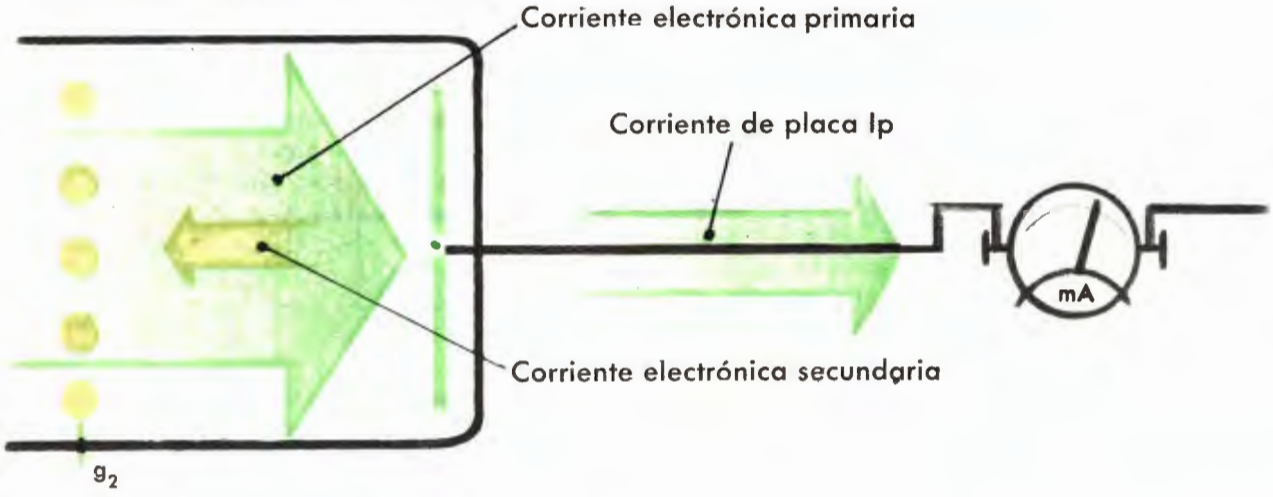
En este gráfico se supone que el valor de V_p es el correspondiente al punto "a".



Cuando V_p alcanza el valor correspondiente al punto "a" todos los electrones secundarios llegan a la pantalla.

¿Por qué...? Es preciso tener en cuenta que la corriente de placa no depende únicamente de los electrones primarios, que son aquellos con los que habíamos contado, sino que también depende de los electrones secundarios, que representan una corriente contraria a I_p que se resta de ella.

Resulta, pues, que por el conductor de placa circula tan sólo la diferencia entre lo que podemos llamar corriente primaria (de electrones primarios) y la que se debe a los electrones secundarios. Esta diferencia es el valor I_p que leeríamos en el miliamperímetro.



La corriente de placa I_p es la diferencia entre la corriente debida a los electrones primarios y la debida a los electrones secundarios.

3. El potencial de placa disminuye más allá del punto *a*. Ocurre que no por ello disminuye la corriente primaria, puesto que, en definitiva, es la rejilla pantalla la que se encarga de proporcionarla a la placa. Lo que sí ocurre es que la velocidad con que la alcanzan los electrones primarios es más reducida.

La consecuencia inmediata es una sensible disminución de la emisión secundaria.

Al ser menor la corriente secundaria, la de placa aumentará proporcionalmente, con tendencia a alcanzar el valor que debiera tener en caso de no producirse el fenómeno de la emisión secundaria que tantas cosas está explicándonos.

Queda explicado el porqué de la existencia de una zona de *resistencia negativa* en las características del tetrodo.

4. Una vez se alcanza el potencial de placa correspondiente al punto *b*, ya no es la velocidad de los electrones primarios lo único que disminuye, sino también la cantidad de los que alcanzan la placa. Al ser g_2 mucho más positiva que la placa, la mayoría de los electrones primarios que la han atravesado retroceden hasta ella.

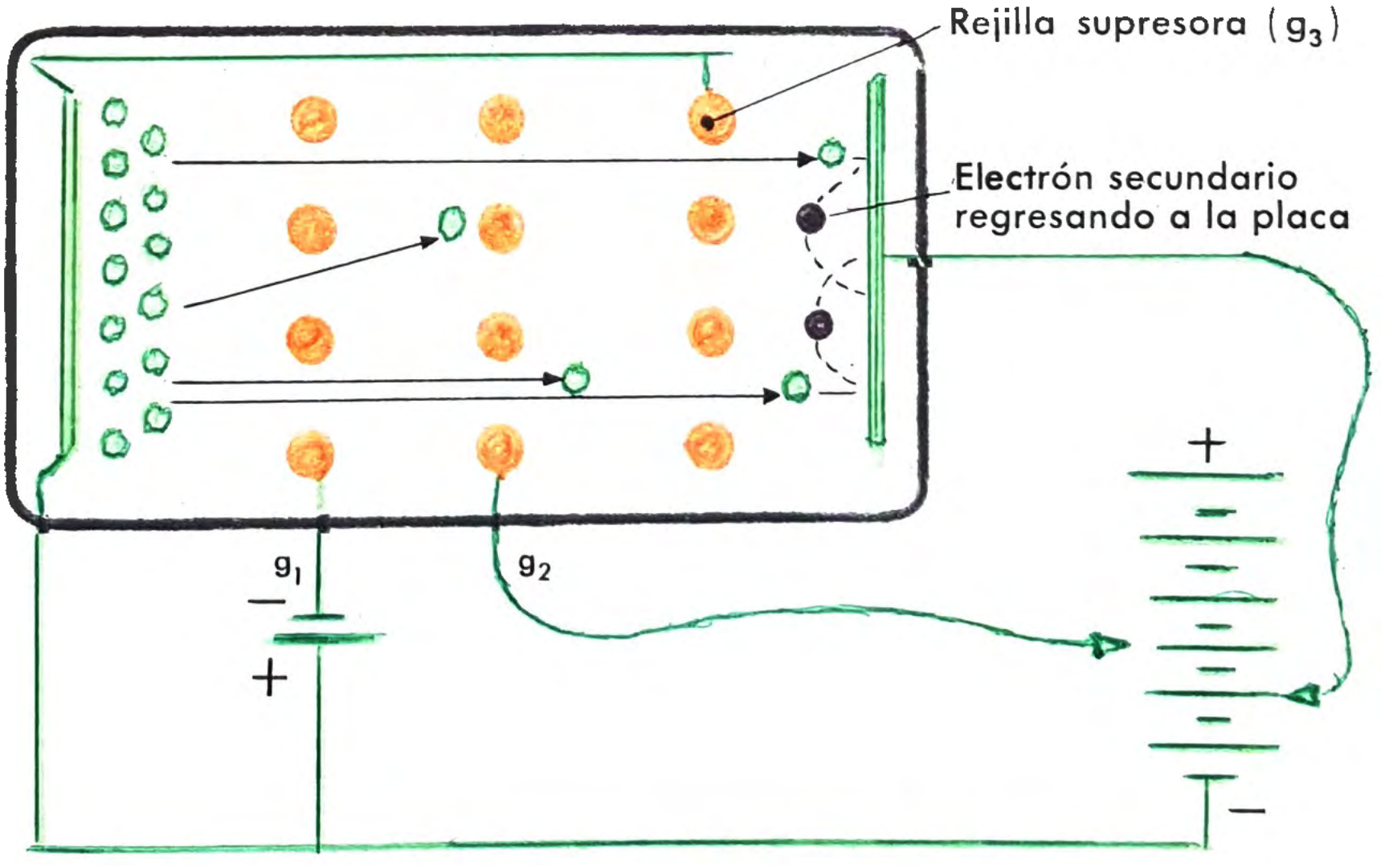
A partir de este instante, la emisión secundaria tiende a desaparecer rápidamente y el comportamiento del tetrodo hasta que se anula totalmente la corriente de placa es prácticamente el que habíamos supuesto. En esta región, pues, las características supuestas y las reales coinciden.

EL PENTODO

Como puede suponer, no hemos explicado todo lo anterior por el simple afán de hablar. Todo lo contrario: queríamos llegar a una meta, pero recorriendo el camino con la garantía de haber procedido con absoluto rigor científico. Queríamos llevarle a la comprensión del pentodo; y creemos que para conseguir que tal comprensión sea cierta y científica, lo repetimos, hemos dado el rodeo que era necesario.

Fíjese bien: hemos partido de la base de unas características de placa del tetrodo, cuya forma era conveniente para que la válvula cumpliese como amplificadora de potencia, capaz de conseguir señales de salida de gran amplitud y con un mínimo de tensión de placa. Ha resultado que el tetrodo cumpliría perfectamente con esta misión si no existiese el fenómeno de la emisión secundaria. Pero como existe, no tendremos más solución que buscar una forma de eliminarla. La solución es muy simple: consiste en añadir una nueva rejilla al tetrodo, con lo cual habremos llegado a la válvula de cinco electrodos: el pentodo.

La tercera rejilla del pentodo (g_3) está conectada directamente al cátodo, por cuyo motivo,



Conexionado del pentodo y acción de la rejilla supresora.

siempre, es más negativa que la placa. Los electrones primarios procedentes de la pantalla pueden atravesar esta rejilla g_3, gracias a la gran velocidad que les imprime la primera; pero no así los electrones secundarios emitidos por la placa, los cuales se ven rechazados por el potencial negativo que tiene la nueva rejilla respecto a la placa. En definitiva: la nueva rejilla g_3 suprime los electrones secundarios, empujándolos de nuevo hacia la placa. Ninguna denominación más idónea para este nuevo electrodo que el de REJILLA SUPRESORA, puesto que suprime la corriente secundaria.

Lo normal es que dicha rejilla supresora vaya conectada al cátodo por el interior de la válvula. Sin embargo, para usos especiales, puede interesar que la rejilla supresora sea independiente, lo que obliga a que algunos pentodos carezcan de la conexión interna entre el cátodo y g_3 (supresora).

Se comprende que las características del pentodo serán las que en principio habíamos previsto para el tetrodo; las del pentodo ideal, derivado del triodo que nos ha servido de constante ejemplo, son las que hemos visto al principio de la lección.

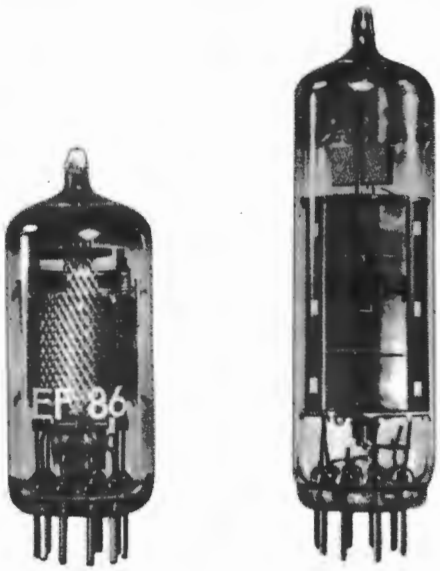
Los pentodos, por igual razón que en el caso de los tetrodos, tienen una resistencia interna muy elevada y, en consecuencia, un alto coeficiente de amplificación. Son, por tanto, muy adecuados como amplificadores de potencia (lo que andábamos buscando) y también como amplificadores de tensión.

Se construyen exprofeso para ambas funciones, distinguiéndose los de potencia por tener electrodos de mayor tamaño para facilitar la obtención de grandes potencias de disipación.

ESTUDIO GRAFICO DE DOS PENTODOS REALES

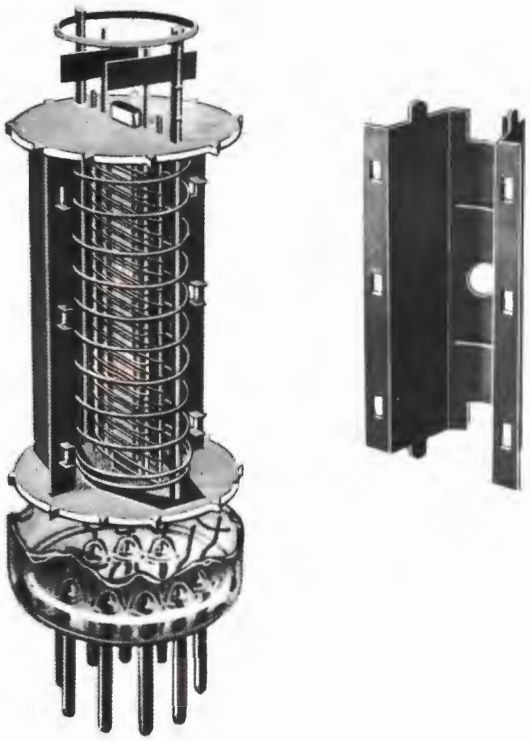
Para redondear nuestro conocimiento sobre pentodos, vamos a efectuar lo que, en términos médicos, llamarían la disección de dos pentodos. Es decir: a través de imágenes, llegaremos a una idea exacta de la estructura real del pentodo amplificador de potencia y del pentodo amplificador de tensión.

Como modelos característicos escogemos un pentodo EL84 (amplificador de potencia) y un EF86 (amplificador de tensión).

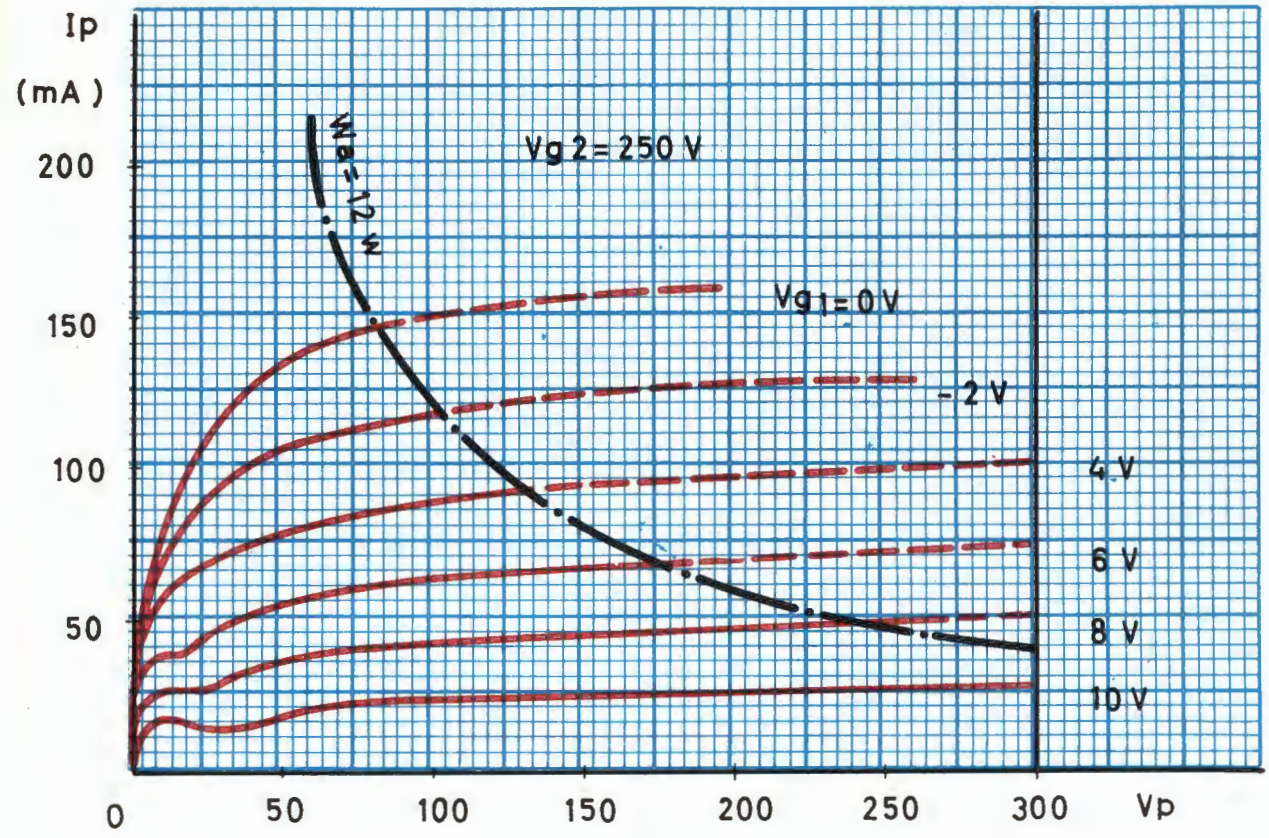


Fotografía de los pentodos EF 86 y EL 84 donde se aprecia el mayor tamaño del amplificador de potencia.

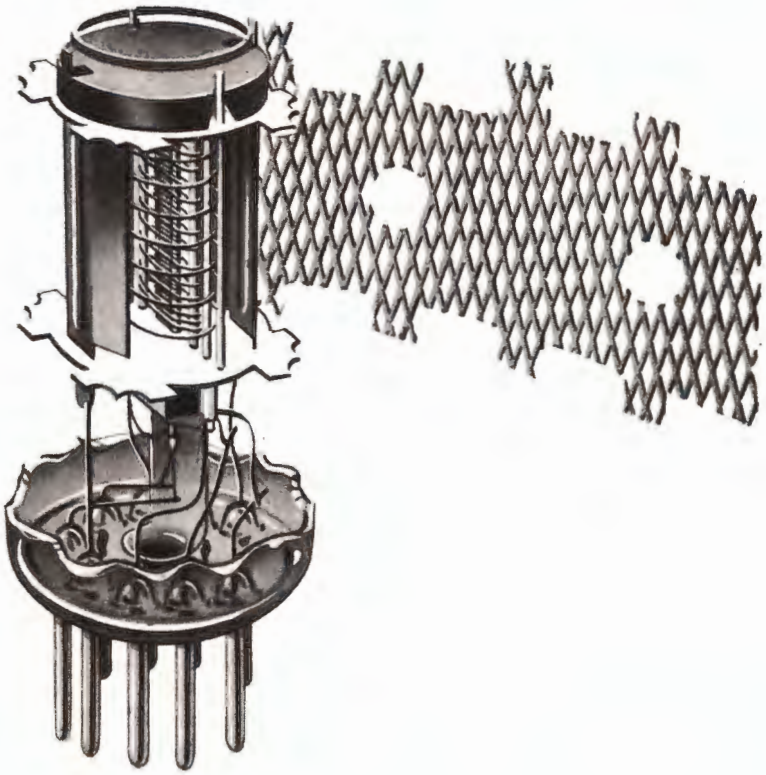
La denominación americana de estas válvulas es la siguiente:
6267 para la EF86
6BQ5 para la EL84



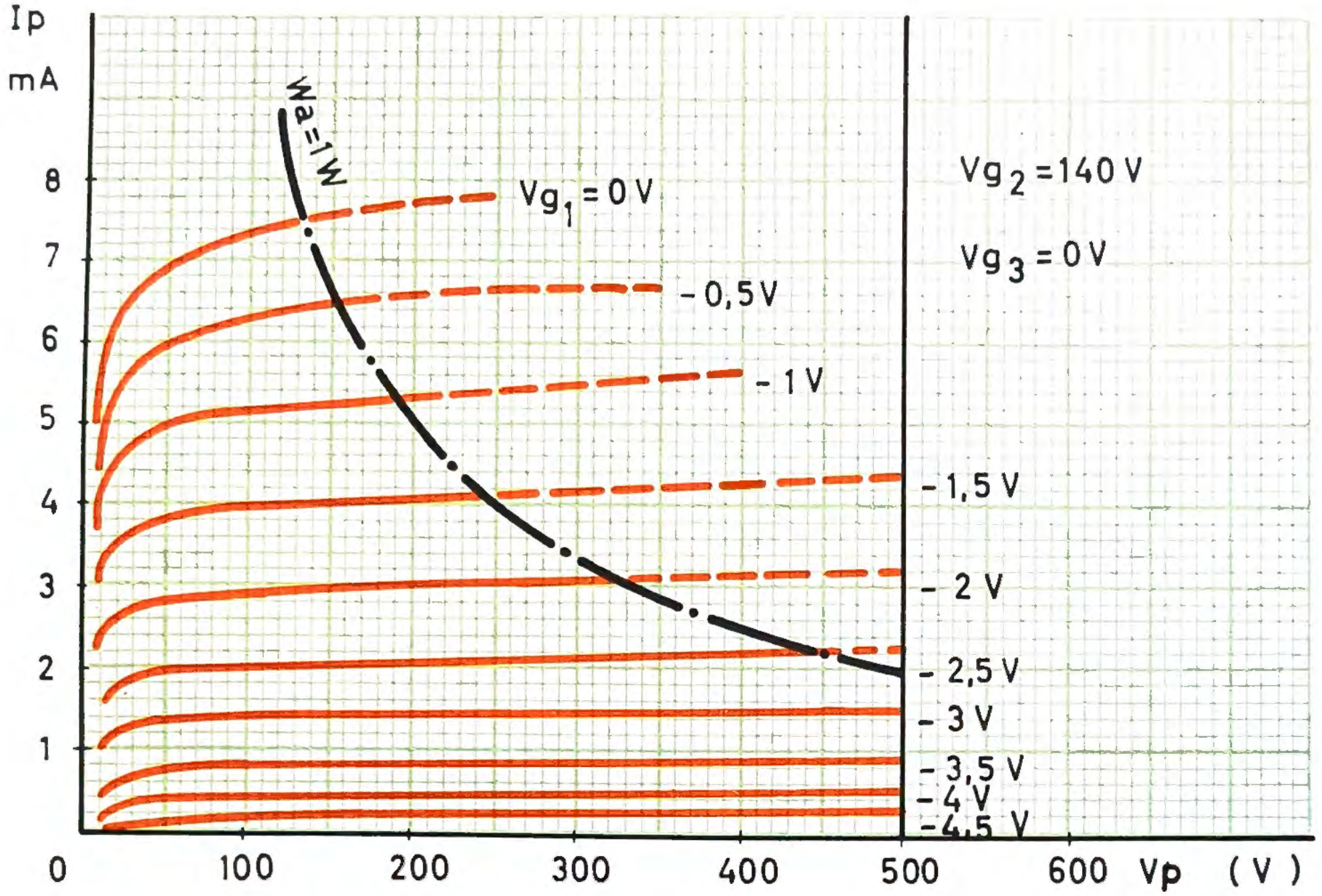
En este gráfico puede verse la estructura interna del pentodo EL 84.



Características de placa del EL 84.



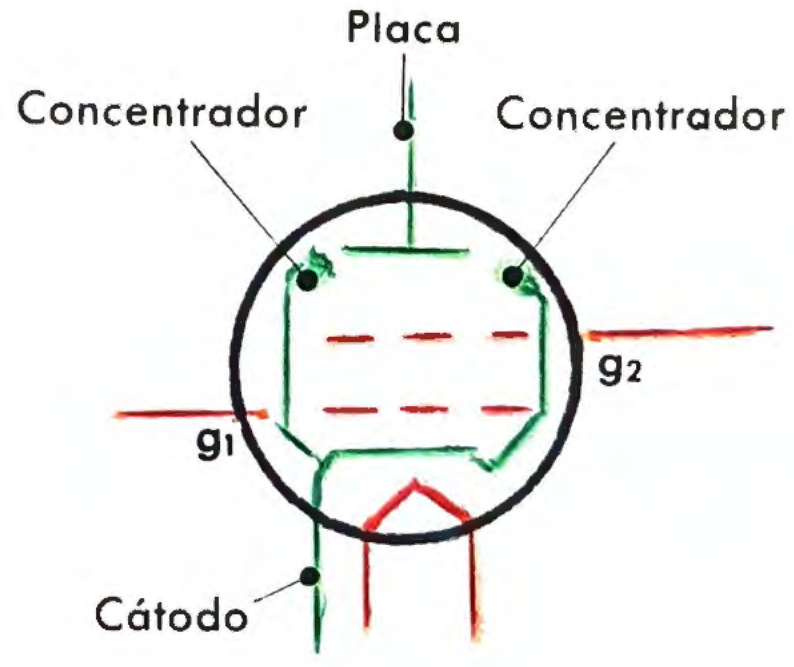
Repetimos la fotografía del EF 86 y añadimos un dibujo donde puede apreciarse su estructura interna.



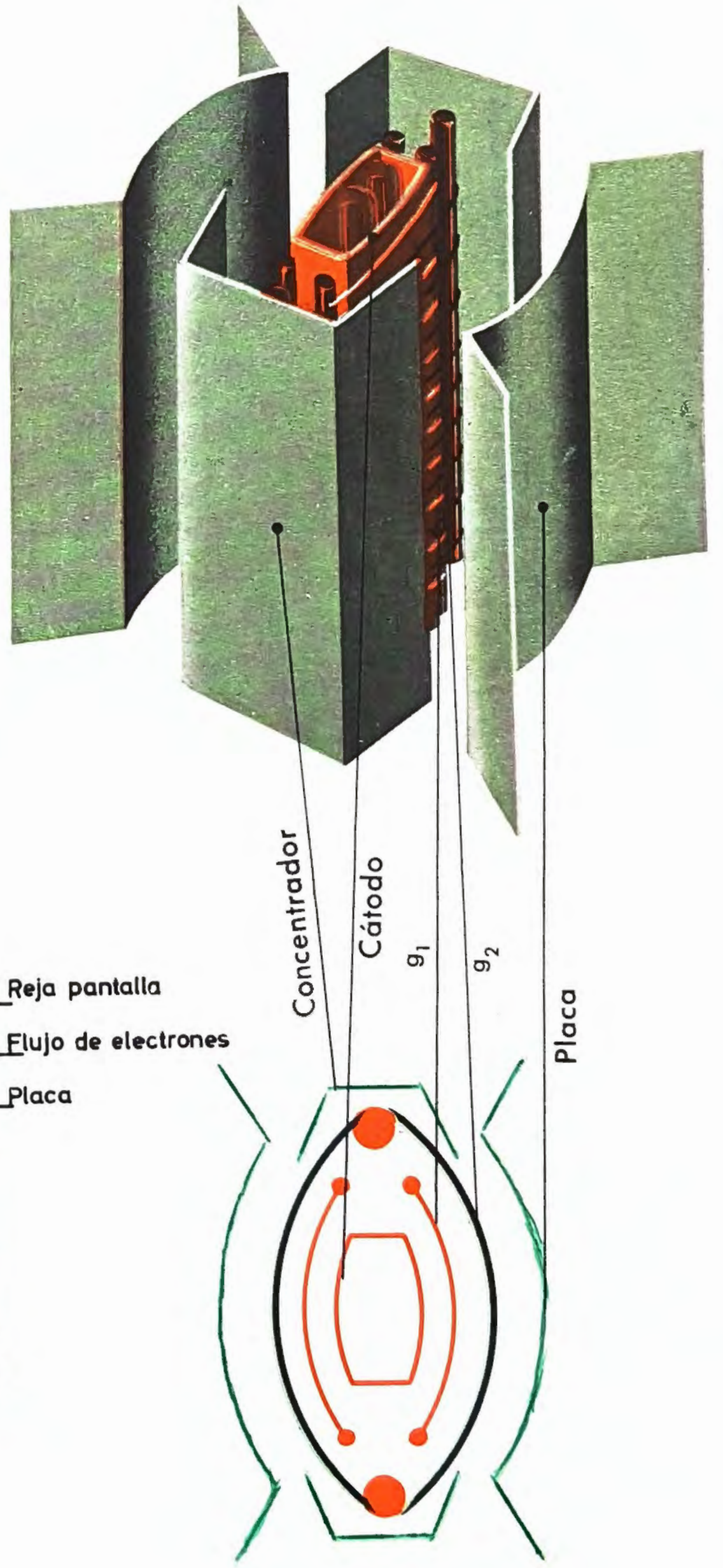
Características de placa del EF 86.

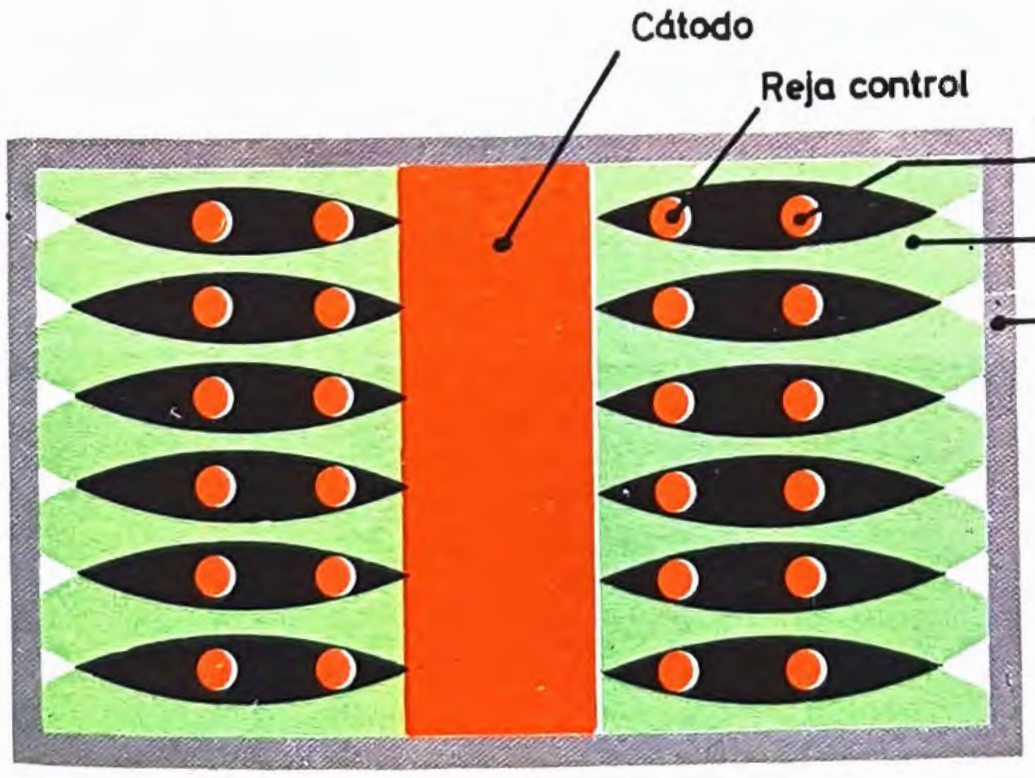
TETRODOS DE HACES DIRIGIDOS

Debemos indicar que existe otro procedimiento para suprimir la corriente debida a la emisión secundaria. Consiste en añadir al tetrodo, en lugar de la rejilla supresora, dos placas o electrodos de concentración conectadas al cátodo. Estas placas envuelven parcialmente la rejilla pantalla dejando únicamente dos aberturas por las que los electrones pueden alcanzar la placa. Además, la pantalla suele construirse con el mismo número de espiras que la rejilla de control y de forma que los hilos de la primera queden justamente detrás de los de la segunda (como si fuesen su sombra). Todo ello obliga a los electrones primarios a concentrarse en haces muy densos que, por así decirlo, empujan materialmente hacia la placa a todo electrón secundario que pretenda salir de ella. Dado que no tiene más que dos rejillas, sigue considerándose esta válvula como un tetrodo y recibe el nombre de tetrodo de haces dirigidos. Vea su representación simbólica.

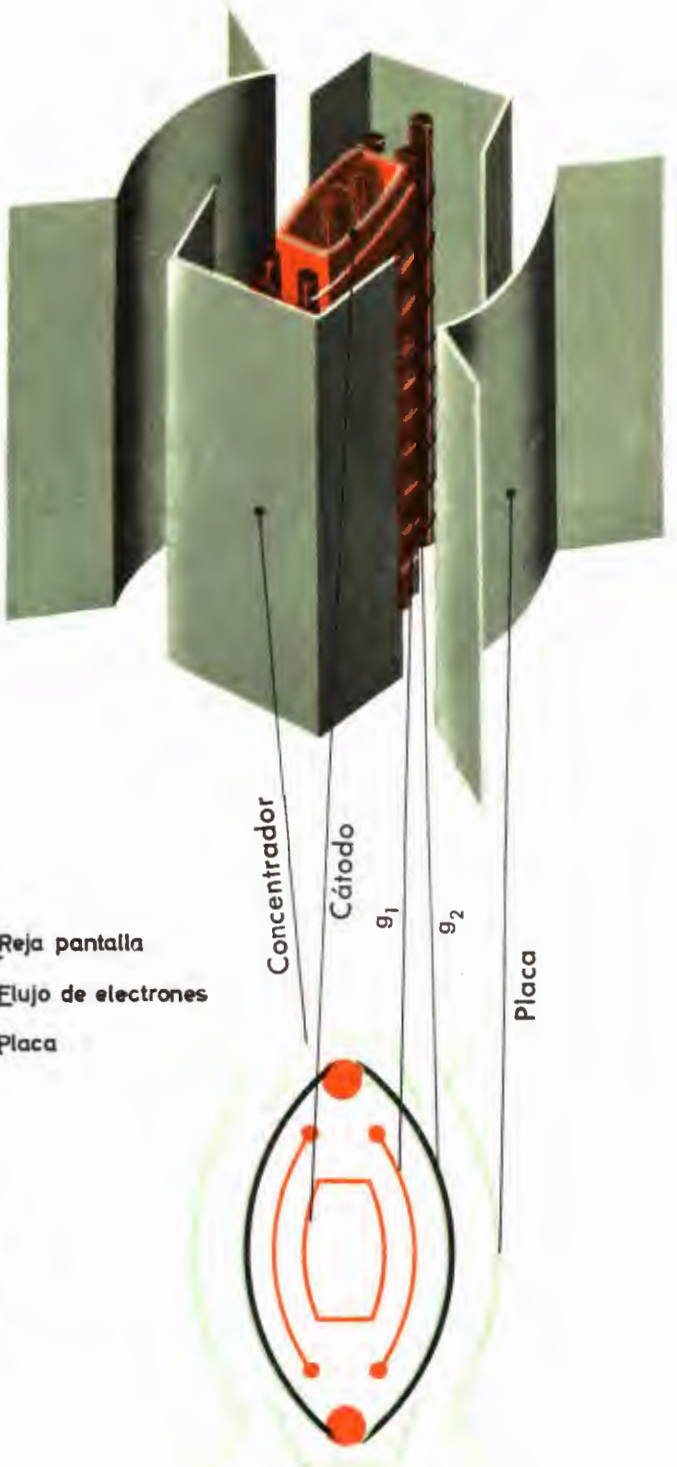


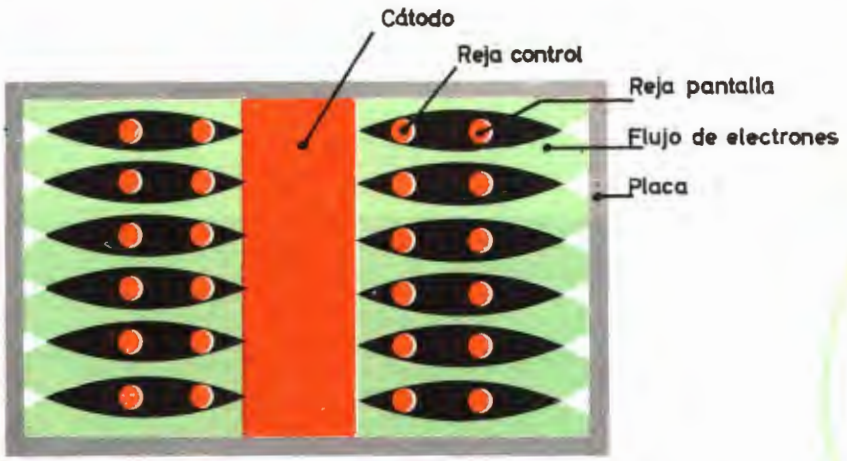
Símbolo de un tetrodo de haces dirigidos. Los electrodos concentradores tienen la misión de canalizar el haz de electrones primarios.



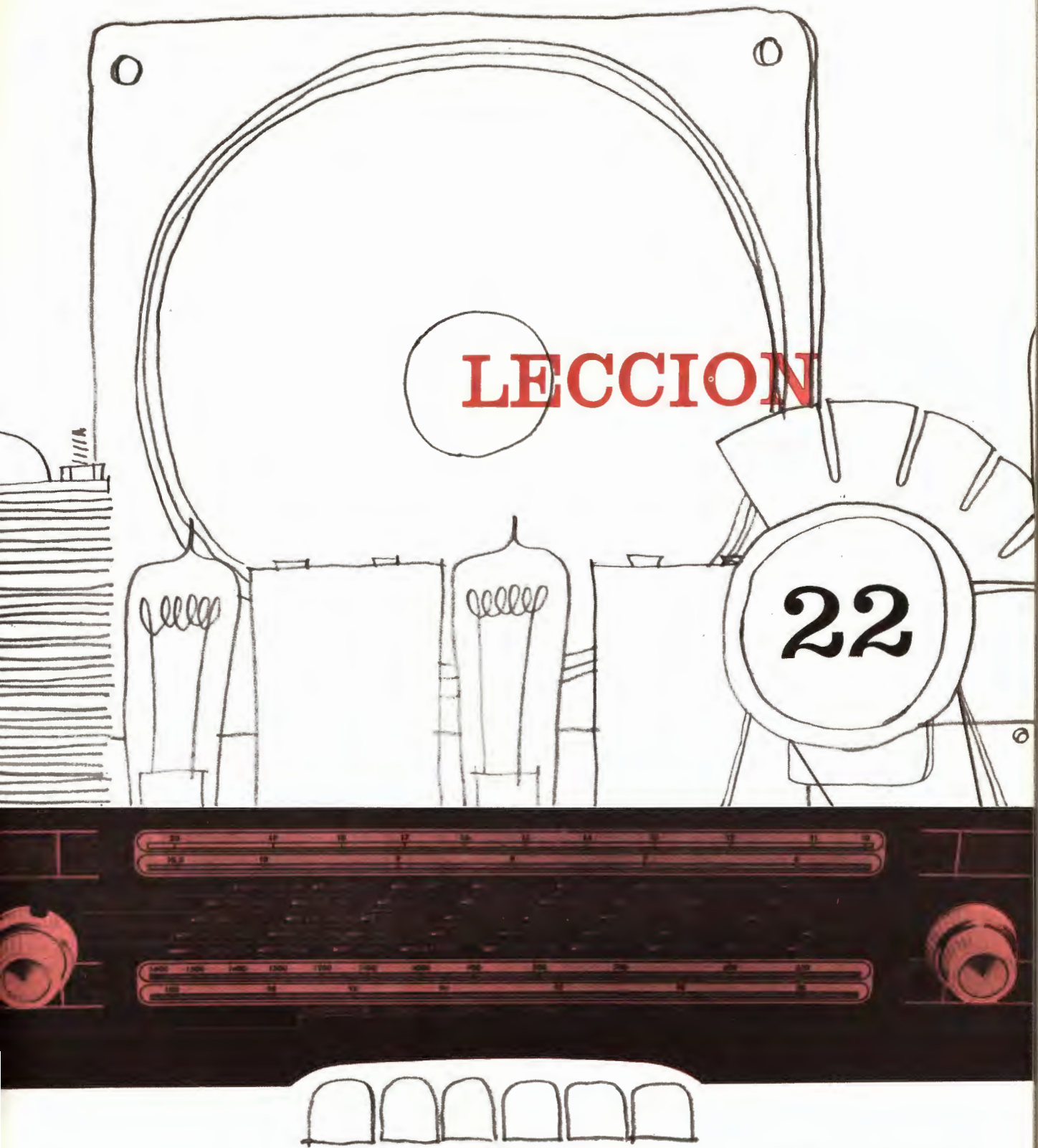


Estructura de un moderno tetrodo de haces dirigidos. (Cortesía Miniwatt.)





Estructura de un moderno tetrodo de haces dirigidos. (Cortesía Mintwatt.)



LECCION 22

Las válvulas amplificadoras

Más características

La El84 como amplificador de potencia

Amplificador con dos etapas

Las válvulas amplificadoras más características - El pentodo EL-84 como amplificador de potencia - El pentodo EF-86 como amplificador de tensión - Proyecto de un amplificador

INTRODUCCION

Hemos entrado en contacto con estas válvulas electrónicas llamadas tetrodos y pentodos al estudiar el principio de su funcionamiento. La conclusión más importante derivada de este estudio fue llegar a la evidencia de que estas válvulas, los pentodos en especial, tienen unas características que demuestran sus grandes posibilidades para ser utilizadas como amplificadores de potencia. Tienen la ventaja de permitir grandes variaciones en la tensión de placa sin que para ello sea necesario conformarse con la aparición de distorsiones demasiado molestas. Es decir: hemos encontrado una válvula en que dentro de un amplio margen de variación en la tensión de placa no aparece distorsión.

Por otra parte, dado que el coeficiente de amplificación de estas válvulas es muy elevado, resultan también apropiadas para actuar con ventaja como amplificadores de tensión.

Para el empleo específico en cada una de estas funciones se fabrican pentodos especialmente preparados, bien sea para actuar como amplificadores de potencia o como amplificadores de tensión.

Dos válvulas que podemos considerar típicas, cada una en su función y dentro de una gran variedad de tipos, son la EL84, amplificadora de potencia, y la EF86, amplificadora de tensión.

Pues bien; esta lección, cuyo interés se hará patente a medida que el lector vaya adentrándose en ella, está dedicada al estudio y aplicación de estas válvulas en circuitos amplificadores.

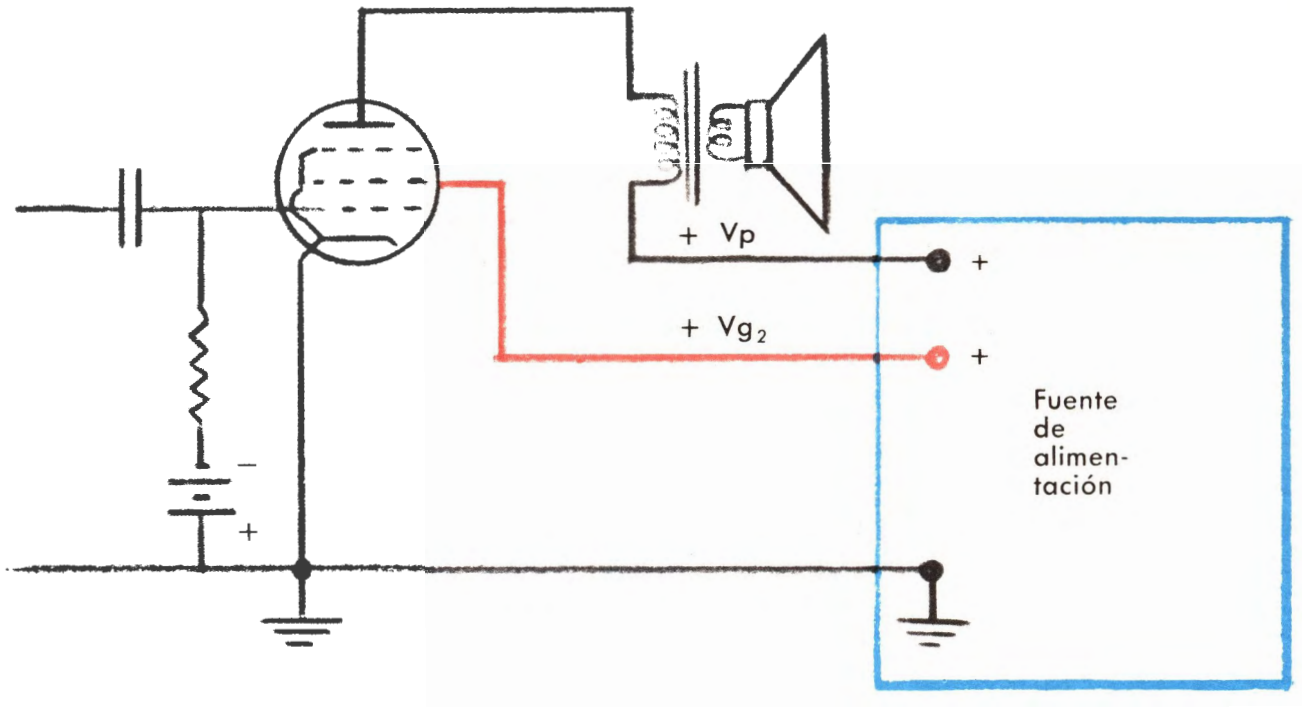
EL PENTODO EL84 COMO AMPLIFICADOR DE POTENCIA

La única diferencia que existe entre el montaje de un triodo y el de un pentodo como amplificadores de potencia reside en que, en el caso del pentodo, es preciso disponer de una toma de la alta tensión que suministre un potencial fijo a la pantalla. Este potencial se representa por la expresión V_{g_2}.

La rejilla supresora suele estar conectada, en el interior de la válvula, directamente al cátodo. De no ser así deberá efectuarse esta conexión entre las patillas correspondientes en el zócalo.

Suponiendo que se polarizase la rejilla de control por medio de una pila, el esquema representativo del montaje de un pentodo como amplificador de potencia sería el de la página siguiente.

Bien; hemos efectuado un somero repaso y en esquema tenemos un pentodo, que puede ser un EL84, montado como amplificador de potencia. Su efectividad, la máxima potencia que puede suministrar, queda vinculada a distintos factores.



Esquema del montaje de un pentodo como amplificador de potencia. En color, la conexión que lo diferencia del montaje del triodo.

POTENCIA DE DISIPACION Y POTENCIA OBTENIBLE

Cuando dedicábamos nuestros esfuerzos al estudio del triodo como válvula amplificadora, vimos que la potencia máxima que puede suministrar al altavoz una válvula de este tipo (triodo) depende fundamentalmente de su potencia de disipación.

Todo esto, que comprobamos que era cierto para un triodo, lo es también para los pentodos y tetrodos: la máxima potencia que pueden suministrar al altavoz, o sea, la *potencia obtenible*, depende de la potencia de disipación de la válvula.

En efecto: la máxima potencia que puede suministrar una válvula es teóricamente igual a la mitad de su potencia de disipación. Decimos *teóricamente* porque, en la práctica, la potencia obtenible será siempre algo menor si, como es natural, deseamos evitar distorsiones.

Detallemos un poco más; profundicemos en la cuestión.

Hablemos en términos generales, sin concretar valores y de forma que nuestras conclusiones puedan aplicarse a cualquier válvula en funciones de amplificador de potencia.

Llamemos W_a a la potencia de disipación de la válvula, la que dependerá de los valores de la intensidad y tensión en la placa determinantes del punto de trabajo en reposo.

Dicho de otro modo: cuando la válvula no recibe ninguna señal (no hay variaciones en la rejilla), la tensión y la intensidad de placa, que llamaremos V_0 e I_0, determinan en las características de placa el punto de trabajo *en reposo* de la válvula. Vea la figura A

Si la potencia de disipación de una válvula es W_a, el punto de trabajo en reposo debe elegirse de forma que el producto $V_0 \times I_0$ sea como máximo igual a W_a. Es decir:

$$V_0 \times I_0 = W_a$$

Pero en cuanto apliquemos una señal a la rejilla, variará tanto la tensión como la intensidad de placa, y entenderemos por *potencia que la válvula suministra* el producto del valor eficaz de la componente alterna de la tensión de placa por el valor eficaz de la componente alterna de la intensidad de placa, porque precisamente ésa es la potencia que la válvula aplica al altavoz a través del transformador.

Añadamos a la gráfica anterior la curva que representa las variaciones de la intensidad de placa. Las variaciones de esta intensidad tienen un límite; cuando disminuya podrá variar, como máximo, desde I_0 hasta un valor cero (hasta anularse) y durante el semiperíodo positivo aumentará, como máximo, si queremos que ambos semiperío-

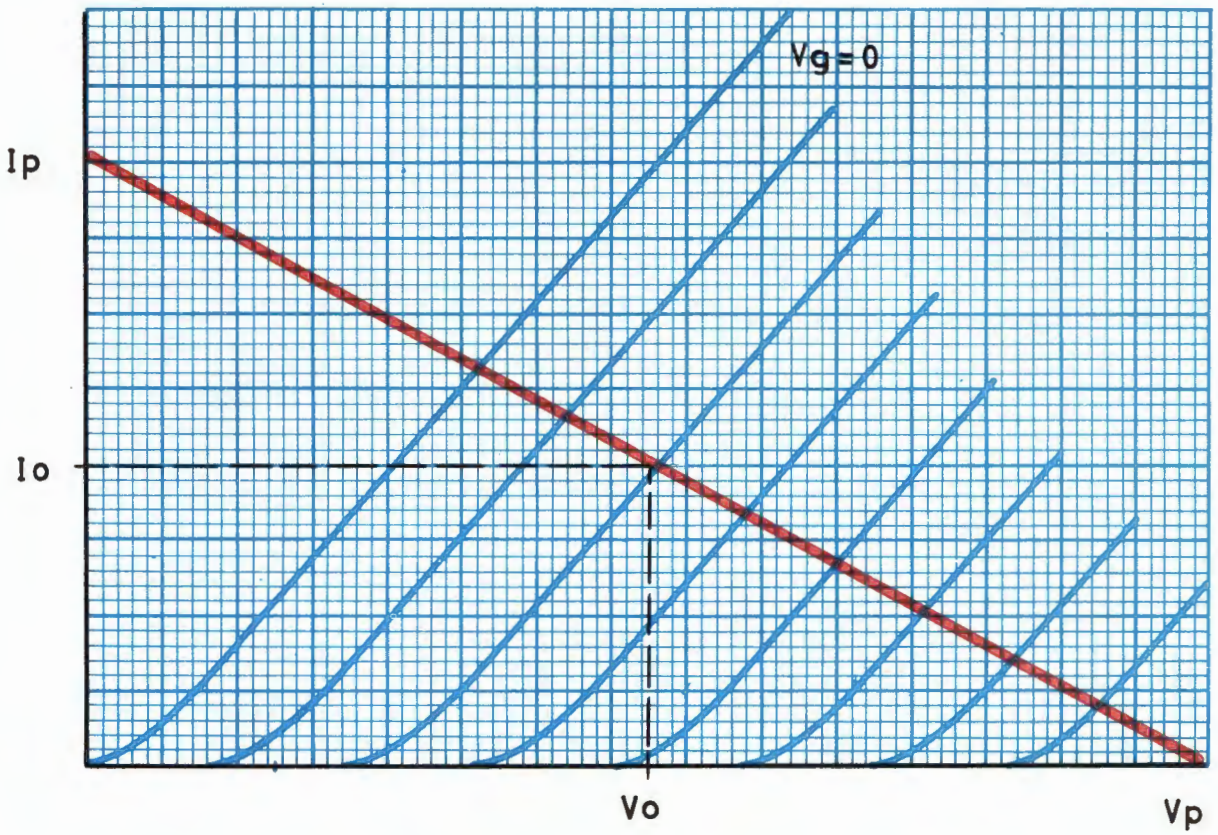


Fig. A

Cuando la válvula no recibe señal alguna, la intensidad y tensión de placa corresponden al punto de trabajo en reposo. Este punto deberá estar necesariamente por debajo de la curva de máxima disipación.

dos tengan igual amplitud, desde I_0 hasta un valor 2 I_0. Vea la pagina siguiente.

Así, pues, en el caso de que I_p y V_p alcancen sus variaciones máximas, su valor de pico sería respectivamente I_0 y V_0 y los valores eficaces serían:

$$I_p \text{ eficaz} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}; \quad V_p \text{ eficaz} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

Pero hemos dicho que la potencia obtenible era el producto de los valores eficaces de las componentes alternas de I_p y V_p (intensidad y tensión de placa). Multipliquemos los valores eficaces:

$$\frac{I_0}{\sqrt{2}} \times \frac{V_0}{\sqrt{2}} = \frac{I_0 \times V_0}{\sqrt{2} \times \sqrt{2}} = \frac{I_0 \times V_0}{2}$$

Como numerador del resultado tenemos el producto $I_0 \times V_0$, que, según hemos dicho ahora mismo, representa el valor de la potencia de disipación.

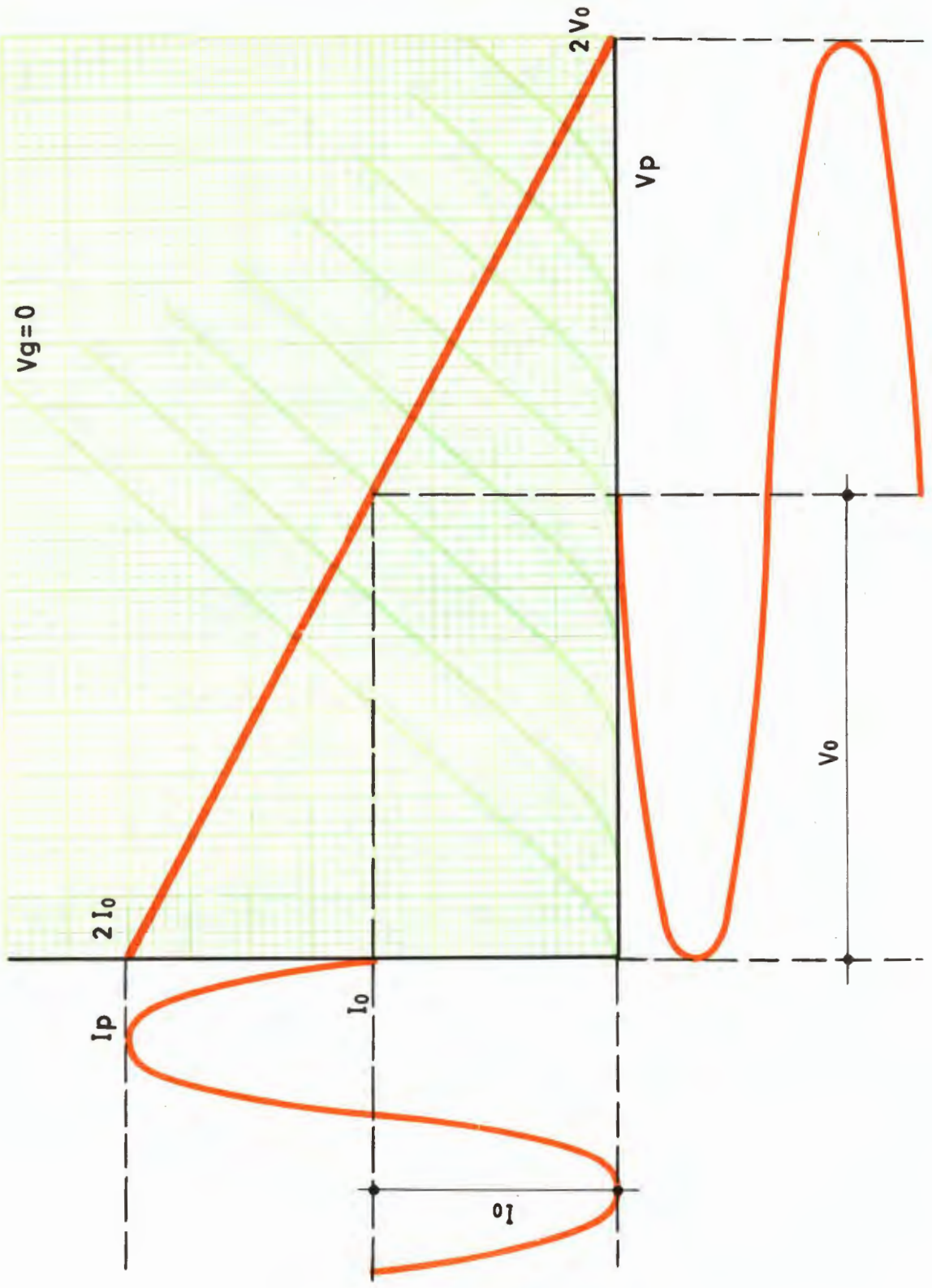
Por tanto, podemos escribir:

$$W \text{ (obtenible)} = \frac{I_0 \times V_0}{2} = \frac{W_a}{2}$$

Queda demostrado que la potencia obtenible de una válvula es teóricamente igual a la mitad de su potencia de disipación.

Esto está claro; como también lo está, en el gráfico, que para obtener tal potencia ha sido necesario que el punto de trabajo se haya desplazado más allá de la intersección entre la recta de carga y la característica $V_g = 0$, cosa que no podemos hacer si deseamos evitar distorsión.

La anterior deducción teórica, según la cual la potencia obtenible es $W_a/2$, no podrá cumplirse y la potencia suministrada siempre será más pequeña que el valor mitad de W_a.



Variaciones maximas para I_p (valor de pico = I_o) y para V_p (valor de pico = V_o).

Lo que ocurre es que, en los pentodos, la intersección a que nos referimos (recta de carga y característica $V_g = 0$) está mucho más cerca del valor $V_p = 0$ que en los triodos. Es decir: a igualdad en potencia de disipación entre un triodo y un pentodo, siempre será el pentodo el que proporcione mayor potencia efectiva.

Las hojas de características que el constructor proporciona indican que:

EL PENTODO EL84 TIENE UNA POTENCIA DE DISIPACIÓN MÁXIMA DE 12 W.

Podemos afirmar, pues, que la máxima potencia que podremos obtener con una EL84 funcionando como amplificador será de 6 W.

IMPEDANCIA DE CARGA

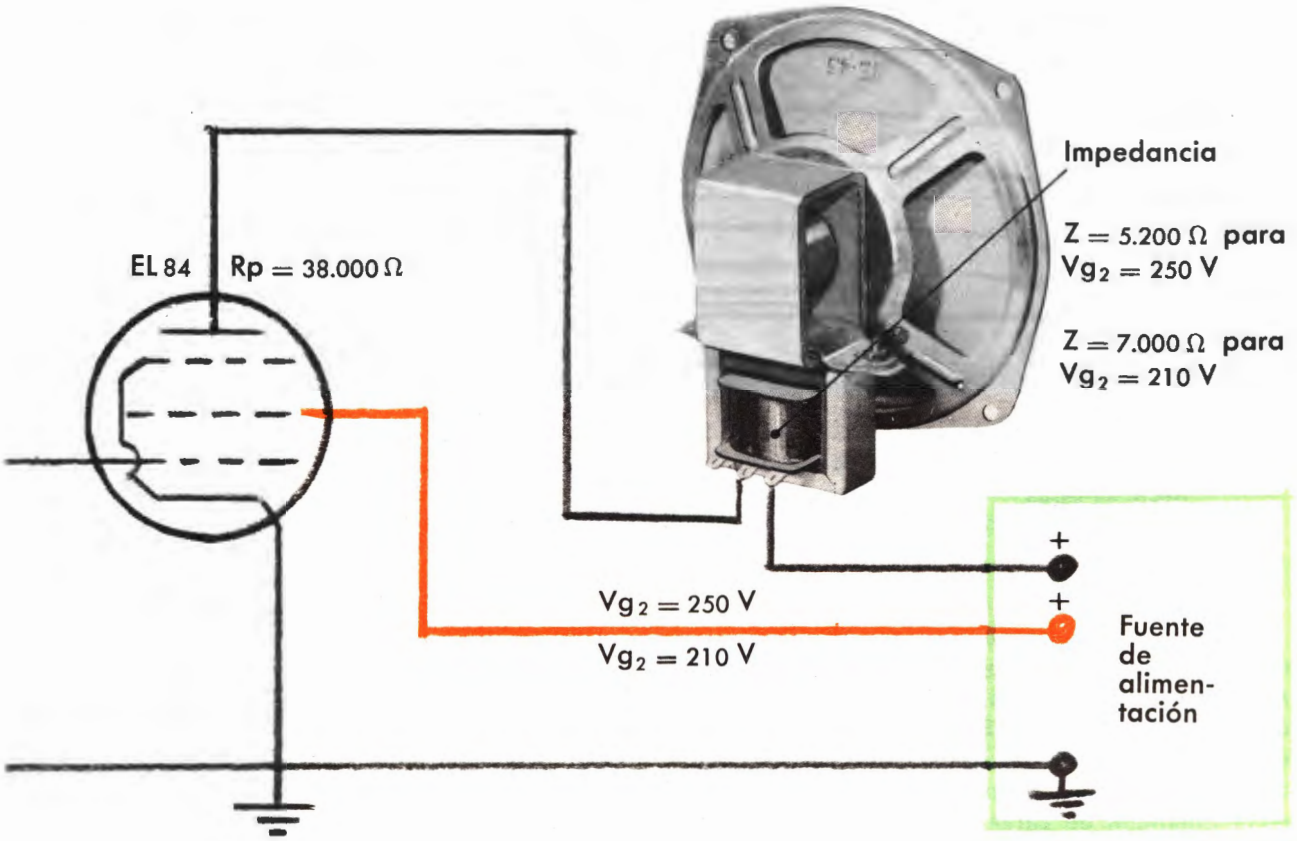
Somos aficionados al recuerdo; usted lo ha comprobado por las muchas veces que decimos algo similar a eso: «Como decíamos en la lección tal...», «Según hemos visto al estudiar...», etc. Parece una reiteración machacona; pero debemos convencernos de que la memoria humana tiene un límite y de que siempre es mejor enfocar un tema teniendo una referencia de los conceptos ya estudiados que en él intervienen. Por tanto, no se sorprenda de una nueva reiteración.

Según dijimos al hablar de los triodos de potencia, cuando lo que se busca es obtener no sólo una elevada potencia de salida, sino también la mayor fidelidad posible, la resistencia o impedancia de carga no se elige con un valor igual a la resistencia de placa de la válvula, sino que se adopta para dicha impedancia el valor que el fabricante da como óptimo.

El mismo criterio rige para los pentodos; concretamente, puesto que de él deseamos hablar, para el pentodo EL84.

Las indicaciones relativas a la válvula EL84 recomiendan una impedancia de carga de 5200 Ω cuando la tensión fija aplicada a la pantalla es de 250 V. Si esta tensión se ha fijado en 210 V, la impedancia de carga recomendable es de 7000 Ω.

Éste es el valor óptimo para la impedancia de carga. En cambio, la resistencia de placa del pen-



Para el pentodo EL84 (R_p = 38.000 Ω) la impedancia de carga será de 5.200 Ω cuando V_{g_2} sea de 250 V y de 7.000 Ω para una tensión V_{g_2} = 210 V, a fin de reducir al mínimo la distorsión.

todo EL84 es del orden de los 38000 Ω. La diferencia que va de los 5200 Ω (o 7000) de la impedancia de carga a los 38000 de la resistencia de placa, hará que perdamos *sensibilidad de potencia;* pero por ser muy elevado el coeficiente de amplificación del pentodo, tal pérdida carece de importancia, como veremos luego, cuando calculemos esa sensibilidad.

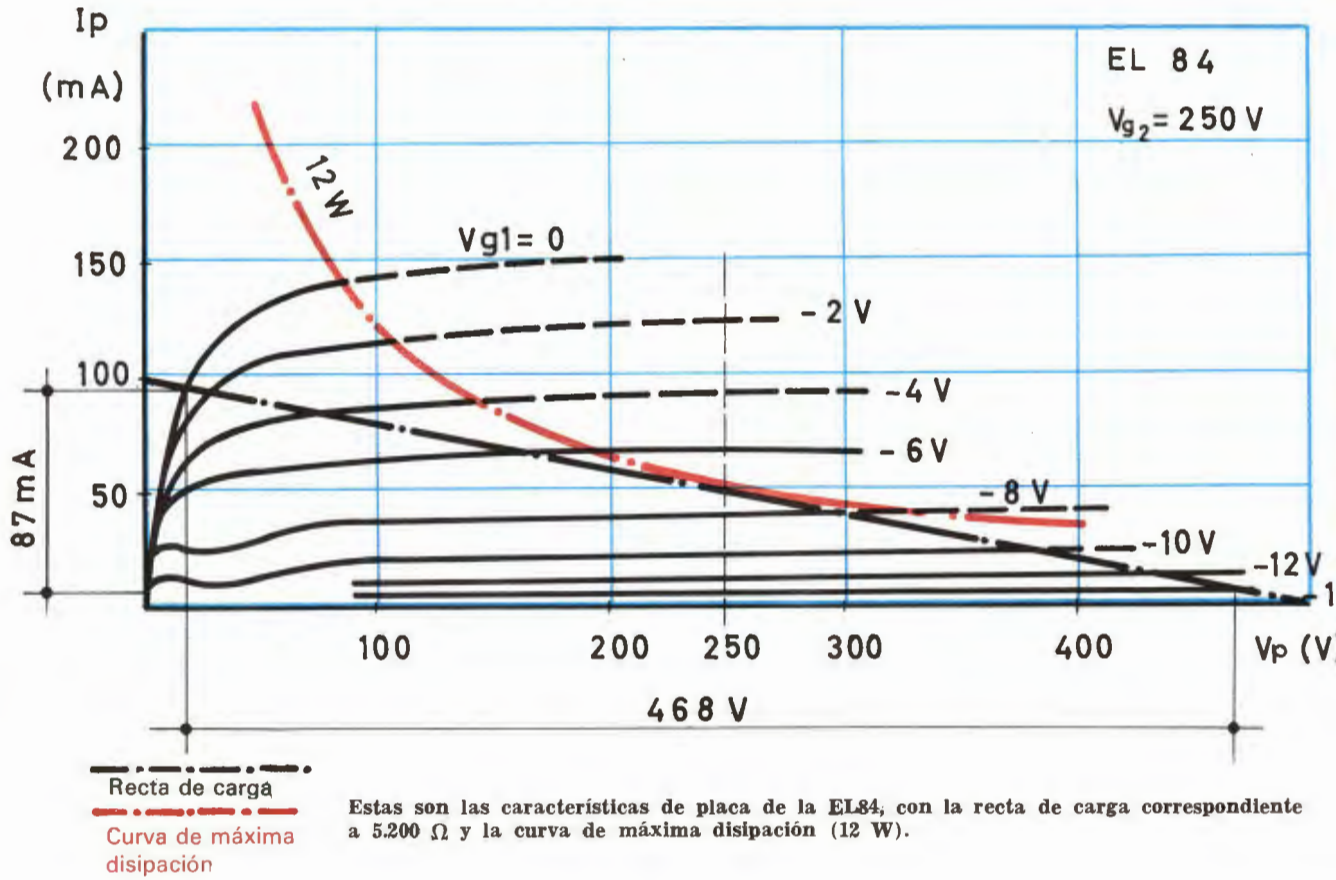
ELECCION DEL PUNTO DE TRABAJO

El gráfico correspondiente a este apartado muestra las características de placa del pentodo EL84, con el eje de las tensiones prolongado hasta dar cabida a una tensión $V_p = 500$ V.

Sobre estas características se ha trazado una recta de carga correspondiente a 5200 Ω.

Creemos innecesario repetir nada de cómo encontrar la inclinación de la recta de carga; quedó explicado a su debido tiempo.

Digamos otra vez que la recta de carga se ha situado lo más elevada posible, sin que llegue a cortar la curva de máxima disipación.



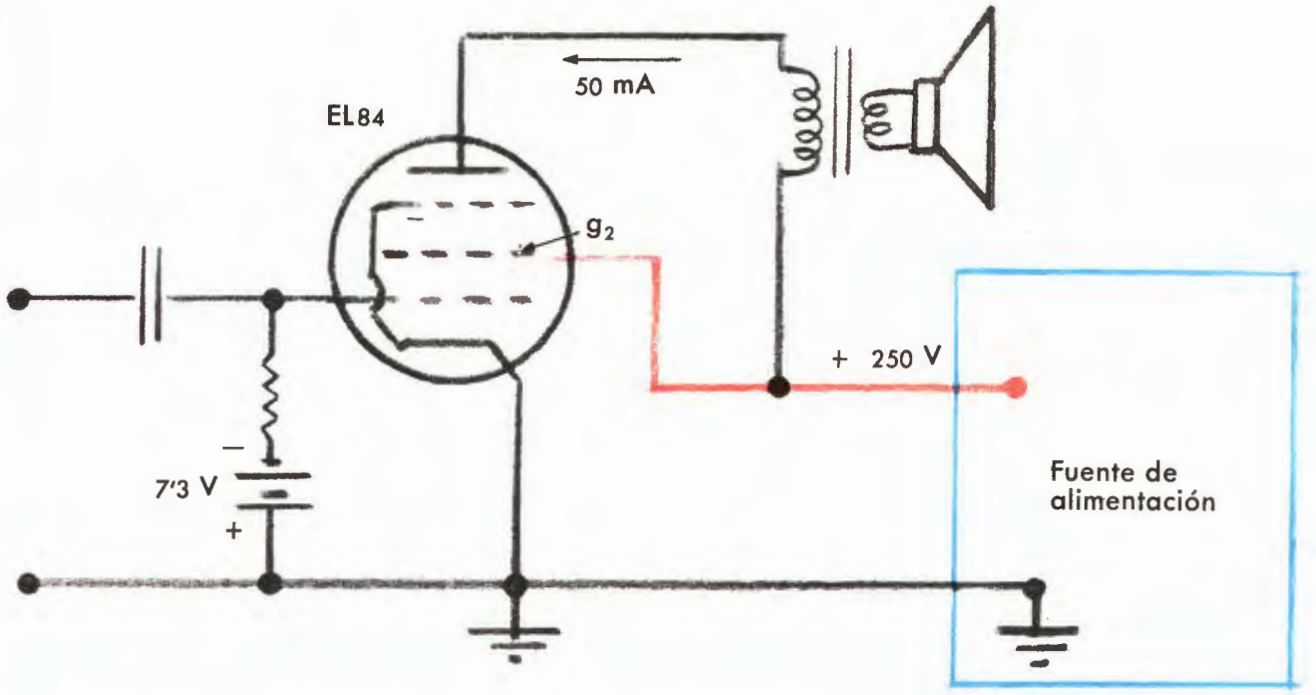
Estas son las características de placa de la EL84, con la recta de carga correspondiente a 5.200 Ω y la curva de máxima disipación (12 W).

Sobre esta recta, que es la recta dinámica de carga, se desplaza el punto de trabajo cuando apliquemos una tensión variable a la rejilla de control; es cosa sabida. En las características puede apreciarse que estas variaciones pueden tener lugar, como máximo, entre la intersección de la recta dinámica de carga correspondiente a $V_g = 0$ V y $V_{g1} = -14$ V. Por tanto, el punto de trabajo, que debe encontrarse en el punto medio de este segmento, corresponde, como puede ver en el gráfico a que nos referimos, a una tensión de placa de 250 V y a una intensidad de placa de 50 mA.

Ésta es una observación importante para el montaje de la EL84: debemos alimentar la placa con una tensión de 250 V procedente de la fuente de alimentación y a través del transformador de salida, que frente a la c.c. presenta una resistencia prácticamente inapreciable. Sí; eso es interesante, porque dada la coincidencia de valores entre V_p (250 V) y V_{g2} (tensión fija que debe apli-

carse a la rejilla pantalla y que es también de 250 V) no será necesaria la conexión que en principio habíamos establecido entre dicha rejilla y la fuente de alimentación.

En definitiva: el montaje de la EL84 como amplificadora de potencia es el que ilustra el gráfico adjunto, donde la polarización se supone conseguida por una pila.



Montaje de la EL84 sin necesidad de la conexión especial para la rejilla g_2, dado que $V_p = V_{g2} = 250$ V.

MAXIMA POTENCIA OBTENIBLE

No pierda de vista el gráfico con las características de la EL84.

Puede apreciarse que, limitando las variaciones del punto de trabajo entre $V_{g1} = 0$ V y $V_{g1} = -14$ V, la componente alterna de la tensión de placa es de 468 V de pico a pico; o bien,

$$\frac{468}{2\sqrt{2}} \text{ voltios eficaces}$$

También observamos que la I_p es de 87 mA entre picos, que representan

$$\frac{87}{2\sqrt{2}} \text{ mA eficaces}$$

Y puesto que la máxima potencia obtenible es el producto de la intensidad eficaz por la tensión eficaz, tendremos que la potencia de salida será:

$$W_s = \frac{0'087 \text{ A}}{2\sqrt{2}} \times \frac{468}{2\sqrt{2}} =$$

$$\frac{0'087 \times 468}{8} \sim 5 \text{ vatios}$$

Comprobamos que la potencia obtenible (aproximadamente igual a 5 vatios) está próxima a los 6 vatios del límite máximo teórico.

SENSIBILIDAD DE POTENCIA

Para conseguir estos 5 vatios a la salida es necesario aplicar a la rejilla una tensión alterna de 14 V de pico a pico. Es decir: en voltios eficaces aplicamos una tensión de

$$\frac{14}{2\sqrt{2}} \sim 5 \text{ voltios eficaces}$$

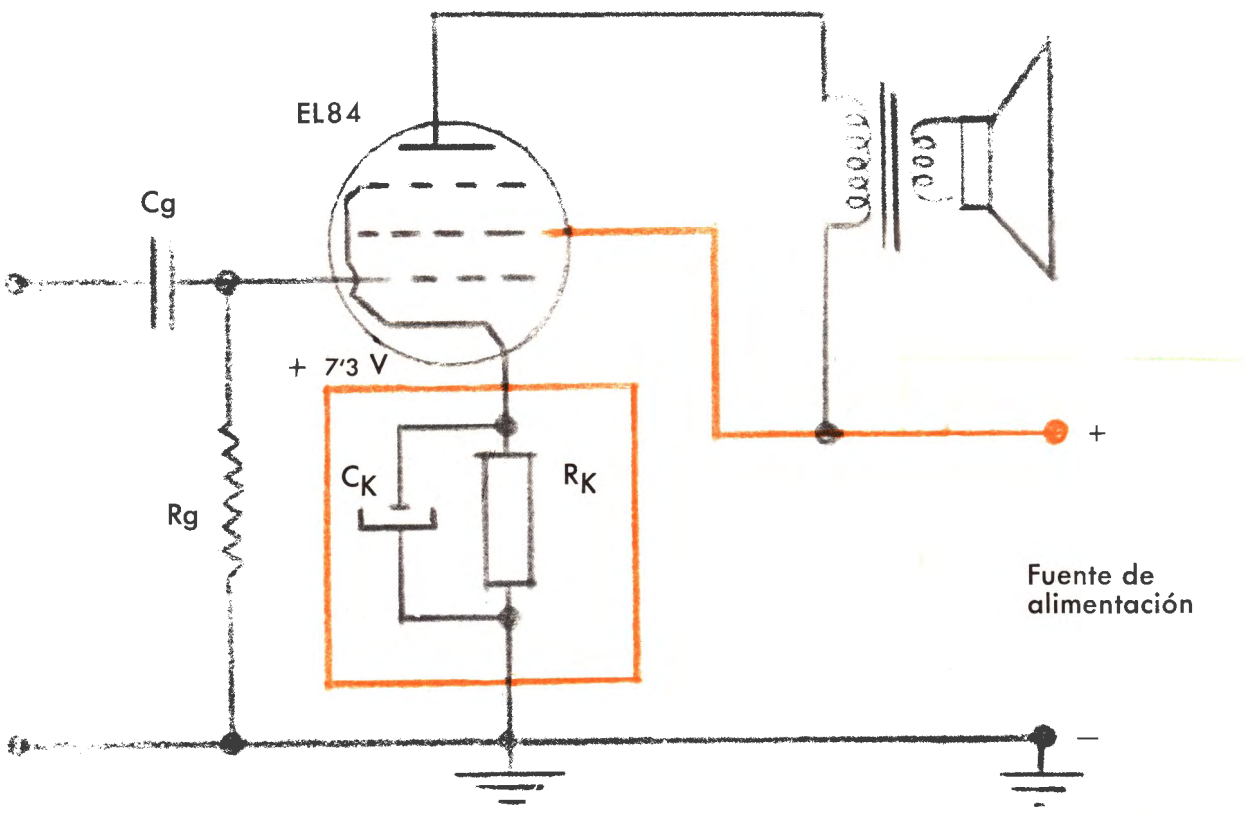
De acuerdo con esta tensión de rejilla eficaz, la sensibilidad de potencia del pentodo EL84 será:

$$\text{Sensibilidad de potencia} = \frac{5 \text{ W}}{5 \text{ V eficaces}} = 1 \text{ W/V eficaz}$$

Polarización por cátodo

Hasta aquí hemos supuesto que la polarización de rejilla se efectuaba por medio de una pila. Podemos advertir que por el punto de trabajo elegido pasa la característica de rejilla $V_{gi} = -7'3$ V. Por tanto, la pila de polarización deberá ser de 7'3 V.

Pero, de la misma forma que en los triodos polarizábamos la rejilla mediante lo que llamamos polarización por cátodo (un grupo resistencia-condensador), también en los pentodos podemos adoptar la misma solución. Hagámoslo y el montaje quedará así:



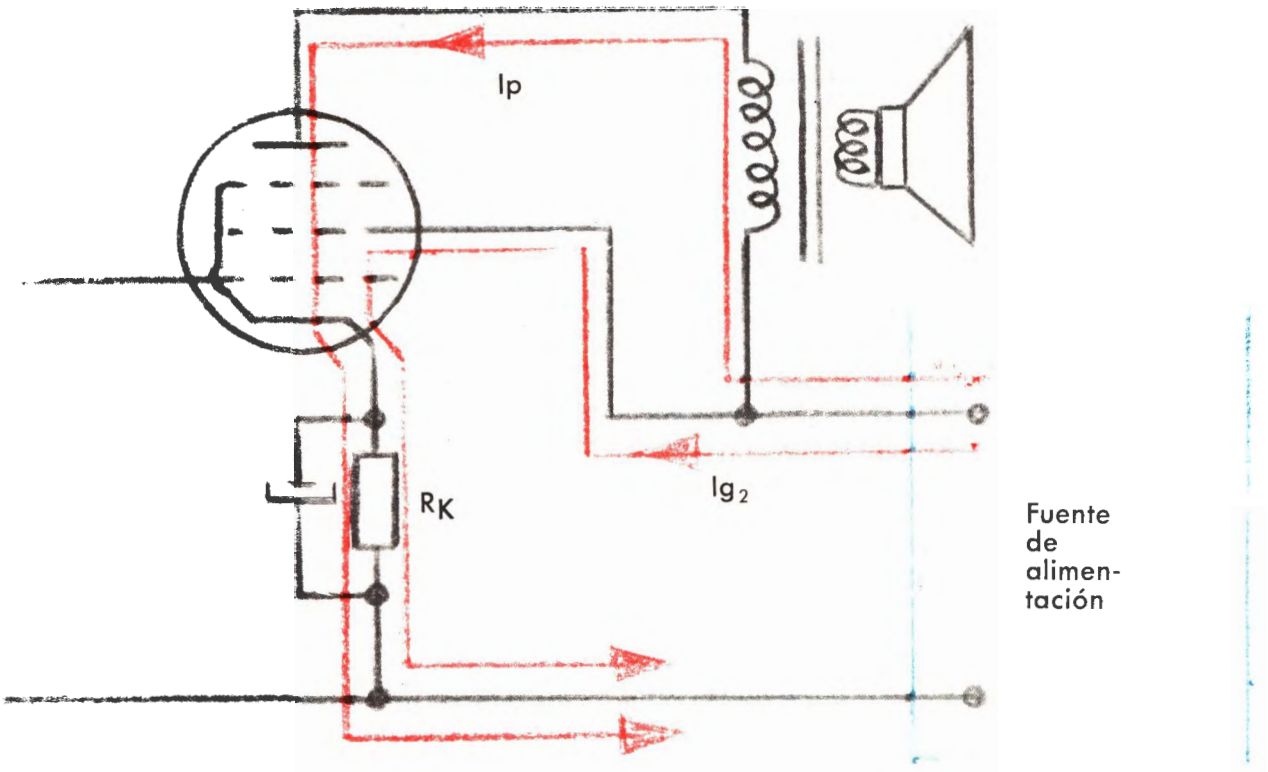
Pentodo montado con polarización por cátodo.

Ahora bien, para calcular el valor adecuado para la resistencia de cátodo R_K es necesario tener en cuenta una particularidad dada por la propia naturaleza, del montaje debida al hecho de que en él utilizamos un pentodo.

La particularidad consiste en tener en cuen-

ta que por esta resistencia circulará, cierto, la corriente de placa I_p; pero no sólo ella, sino que también circulará la corriente de pantalla I_{g2} porque la pantalla, al ser un electrodo positivo, absorbe parte de los electrones emitidos por el cátodo.

De manera que para calcular el valor de R_K es preciso tener en cuenta que los 7'3 V de rejilla



La resistencia R_K queda atravesada por la corriente de placa y por la corriente de pantalla.

debe ser la caída de potencial originada por una corriente cuya intensidad es $I_p + I_{g2}$.

Por tanto, el cálculo de la resistencia de cátodo viene dado por esta expresión:

$$R_K = \frac{\text{Tensión de polarización}}{\text{Intensidad placa} + \text{Intensidad pantalla}}$$

Sabemos que la tensión de polarización es $V_{g1} = 7'3$ V y que la intensidad de placa es $I_p = 50$ mA. Pero nada sabemos acerca del valor de la intensidad de pantalla I_{g2}.

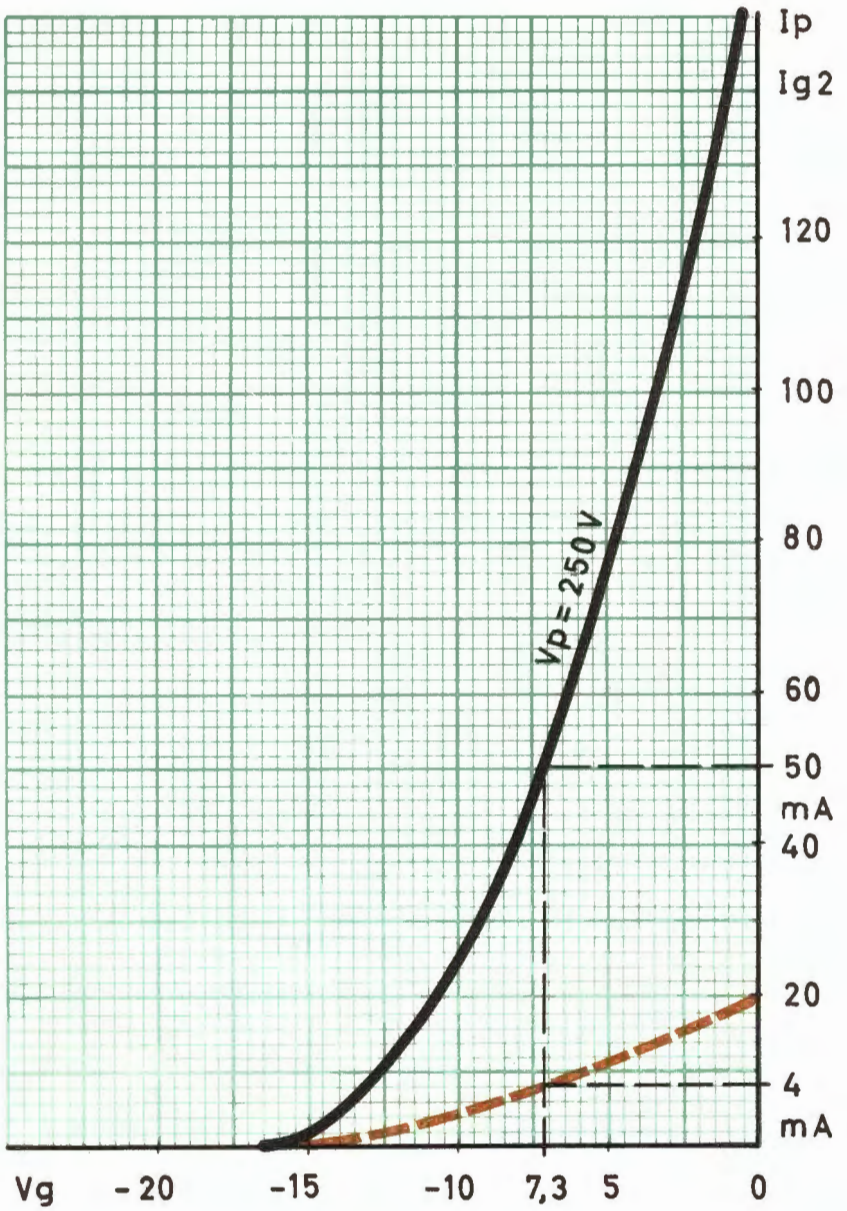
¿Cómo determinarla?

Para ello nos valdremos de las características de rejilla de control de la EL84, a las que aún no hemos necesitado recurrir. Ahora ha llegado el momento de utilizarlas Véalas en **la pág.** siguiente.

Observará que en la gráfica aparecen dos curvas, una de ellas en color. *La curva negra indica cómo varía la intensidad de placa* I_p, *al variar la tensión de la rejilla de control, cuando* V_p *permanece constante e igual a 250 V.* El significado de esta curva, pues, es el mismo que en los triodos.

La segunda curva indica las variaciones de la intensidad de pantalla a medida que varía la tensión de la rejilla de control para una V_p *también de 250 V.*

Resulta, pues, que en estas características podemos apreciar cómo, para una tensión de la rejilla control $V_{g1} = -7'3$ V, la intensidad de placa es, efectivamente, $I_p = 50$ mA, como habíamos deducido; y que la intensidad de pantalla es $I_{g2} = 4$ mA, cosa que ignorábamos.



Características de rejilla de control del pentodo EL84.

Con estos datos, podemos calcular el valor de la resistencia de cátodo R_K.

$$R_K = \frac{7'3}{0'050 + 0'004} = \frac{7'3}{0'054} \sim 135\ \Omega$$

La resistencia de cátodo deberá tener un valor aproximado de 135 Ω.

Por otra parte, dado que esta resistencia está sometida a una d.d.p. de 7'3 V y recorrida por una intensidad de 0'054 A, por tanto disipa una potencia de

$$W = 7'3\ V \times 0'054\ A \sim 0'4\ W$$

Conviene asegurarse de que no se recalienta, así que se elegirá una que disipe 1 vatio.

Hablemos ahora del condensador C_K.

Cualquiera que sea la frecuencia de las corrientes que pretendamos amplificar, deberá cumplir la condición de ser un condensador cuya reactancia X_c resulte mucho menor que R_K.

En un caso como el que nos ocupa, donde tratamos de la construcción de un amplificador de B.F., el valor apropiado se halla 50 μF para arriba.

Para este orden de capacidades, deberá ser un condensador electrolítico capaz de soportar los 7'3 V de polarización sin deteriorarse. Para asegurar la vida del condensador, lo mejor es exigirlo capaz de soportar tensiones de 25 V (cuatro veces más de lo estrictamente necesario). $C_K = 100\ \mu F\ 25\ V$.

VALORES ADECUADOS PARA R_g Y C_g

Sabemos que el condensador C_g (condensador de rejilla) y la resistencia que denominaremos R_g (resistencia de rejilla) tienen por misión dejar pasar la componente alterna de la señal y detener su componente continua.

Y para evitar que una parte considerable de esta componente alterna se pierda en el condensador, debe cumplirse la condición de que su reactancia X_C sea pequeña en comparación con el valor de la resistencia R_g. Por ello conviene elegir un condensador de gran capacidad y una resistencia de elevado valor.

Pero todo tiene un límite; en este caso la capacidad del condensador viene limitada por algo tan prosaico como es su precio. En efecto; si tan grande lo elegimos llegará a tener un precio que no justificará su adopción. Lo normal es que en la práctica se trabaje con valores comprendidos entre 0'01 μF y 0'1 μF.

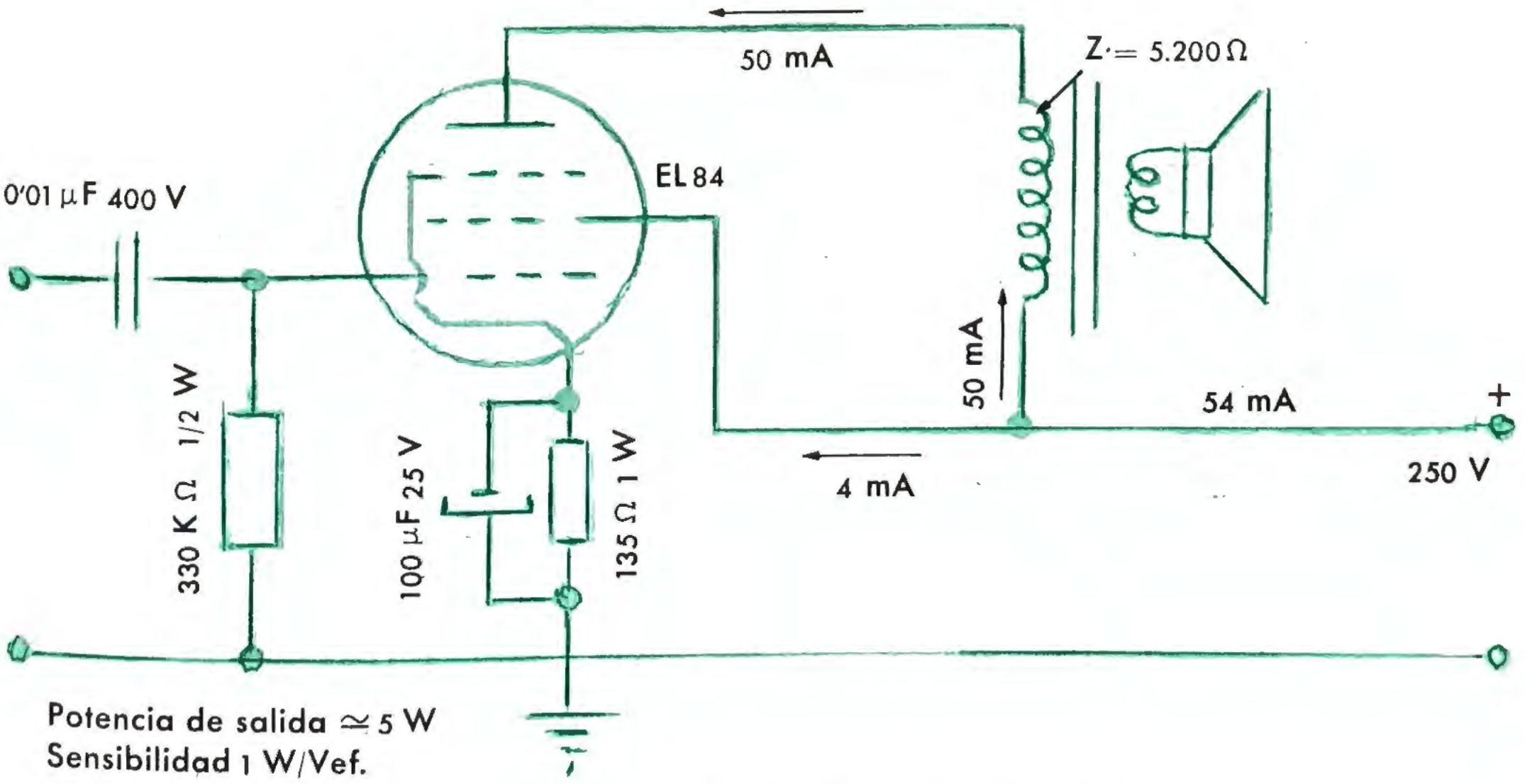
No basta con elegir la capacidad del condensador. Debe tenerse en cuenta que su aislamiento ha de soportar la componente continua de la tensión de placa del paso anterior, cosa que no es problema, ya que el comercio expende condensadores cuyo aislamiento está garantizado para tensiones de 125 V a 400 V. Uno de estos últimos será el condensador adecuado.

Por lo que respecta al valor de la resistencia R_g, la limitación no es cuestión de precio, porque el factor que encarece estos componentes es principalmente su potencia de dispación, y en nuestro caso una resistencia de 1/2 W es más suficiente. Pero su valor óhmico debe considerarse limitado en los 0'5 MΩ. La razón está en que, para valores más elevados, además de polarización por cátodo existiría polarización por rejilla, con lo cual dejarían de ser correctos los valores calculados.

Dar a la resistencia R_g un valor adecuado (no superior a 0'5 MΩ) es una precaución que siempre debe tenerse en cuenta en los pentodos de potencia, debido a que el número de electrones captados por sus rejillas es relativamente importante. Elegimos el valor de 330 KΩ como más adecuado y, según hemos dicho, 1/2 vatio de disipación.

ESQUEMA FINAL - ALGUNAS CONSIDERACIONES

Con las últimas consideraciones hemos completado el cálculo del montaje de una EL84 como amplificador de potencia. Vea el esquema con la anotación de todos los datos de interés.



Montaje de una EL84 como amplificadora de potencia. Esquema final con los valores que intervienen en el circuito.

Hagamos ahora algunas consideraciones acerca del resultado de proyecto que hemos coronado.

Cuando lo llevemos a la práctica, nuestra intención será conseguir un montaje que responda de acuerdo con los valores calculados. Sin embargo, lo más frecuente es que, una vez el circuito en marcha, midamos tensiones e intensidades que no encajen exactamente con los valores deducidos por cálculo.

No debe sorprendernos. Los materiales empleados (incluida la válvula) tienen cierta tolerancia en sus características que puede alterar, dentro de los límites de la misma, los valores que en teoría debieran dar. Pero mientras estos valores no difieran considerablemente de los calculados, el montaje funcionará a la perfección.

Admitamos también que, en plan profesional, no es necesario hacerse tantas consideraciones. El problema desaparece cuando se dispone de las instrucciones del fabricante, donde no sólo aparece el valor de la impedancia de carga, sino también el de la intensidad y tensión de placa y pantalla e incluso el valor de la resistencia de cátodo. Estos datos se conocen como *condiciones típicas de funcionamiento;* es decir: aquellas en que normalmente se utiliza la válvula.

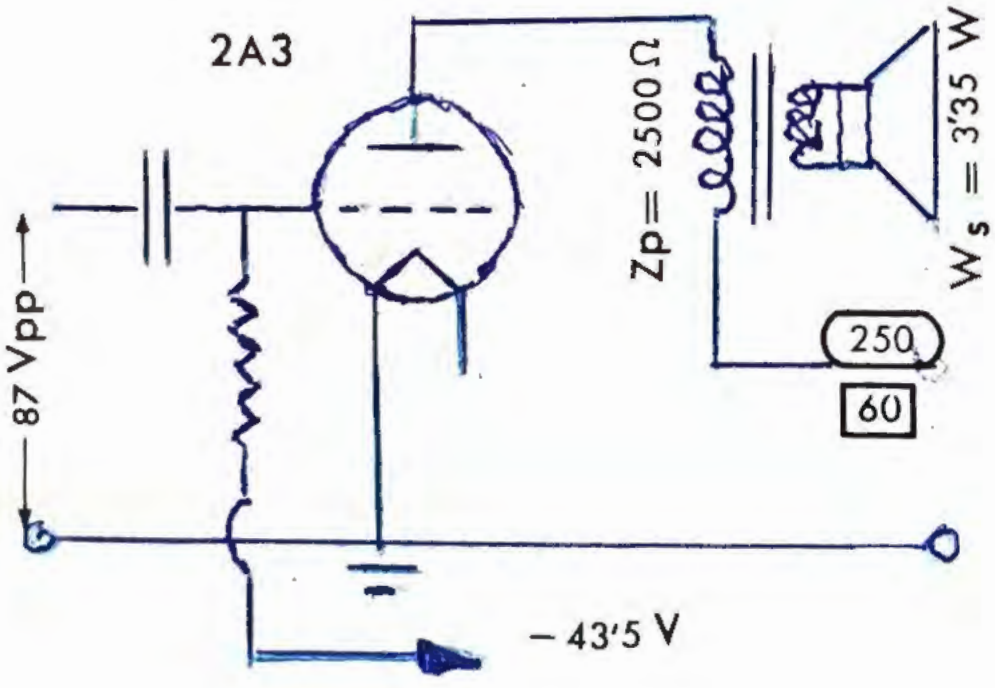
Sí; lo corriente es que podamos trabajar según las condiciones típicas de funcionamiento; pero como no siempre son adecuadas tales condiciones, *el técnico* debe tener una idea clara del papel que cada elemento representa en el funcionamiento del conjunto y de la forma como puede influir en él en caso de alterar su valor típico.

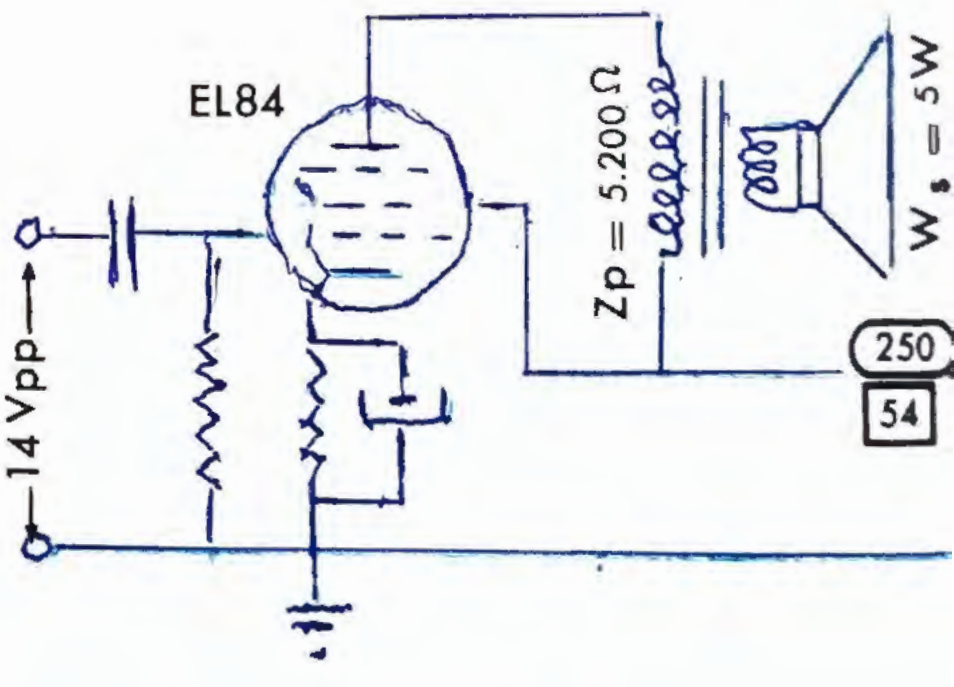
Es decir: el técnico debe estar en condiciones de proyectar el funcionamiento de la válvula, cuando las circunstancias aconsejen la adopción de unas condiciones de trabajo diferentes de las que hemos considerado típicas.

CUADRO COMPARATIVO ENTRE UN PASO DE SALIDA CON TRIODO DE POTENCIA (2A3) Y OTRO PASO DE SALIDA POR PENTODO (EL84)

Los dos esquemas que siguen corresponden a los pasos de salida de sendos amplificadores. En uno de ellos la válvula amplificadora de potencia es un triodo 2A3 (triodo de potencia característico); en el otro la válvula es un pentodo EL84 (que también es un pentodo de potencia típico).

En estos esquemas y en el epígrafe que los acompaña queremos dejar bien patentes las diferencias de orden técnico que concurren en las dos soluciones.





En los esquemas se advierte que la EL84, a pesar de tener una potencia de disipación total (placa + pantalla) de sólo 13'5 W (250 × 0'054 = 13'5) contra los 15 W de la 2A3 (250 × 0'06 = 15), suministra al altavoz una potencia mayor y requiere para ello una tensión de entrada menor que la 2A3.

Una desventaja adicional de la 2A3 es que, debido al elevado valor de su tensión de polarización (43'5 V), no es conveniente polarizarla por cátodo; y por ello precisa de una tensión negativa auxiliar en la fuente de alimentación.

AMPLIFICADOR DE SONIDO CON DOS ETAPAS

ESTUDIO TEORICO

Es evidente que un paso de salida con válvula EL84 tiene la ventaja (frente a una etapa por triodo, por ejemplo) de su gran sensibilidad. Pero, aun así, esta sensibilidad puede resultar insuficiente si la señal de que se dispone, que puede ser la que procede del detector de un aparato receptor, es débil.

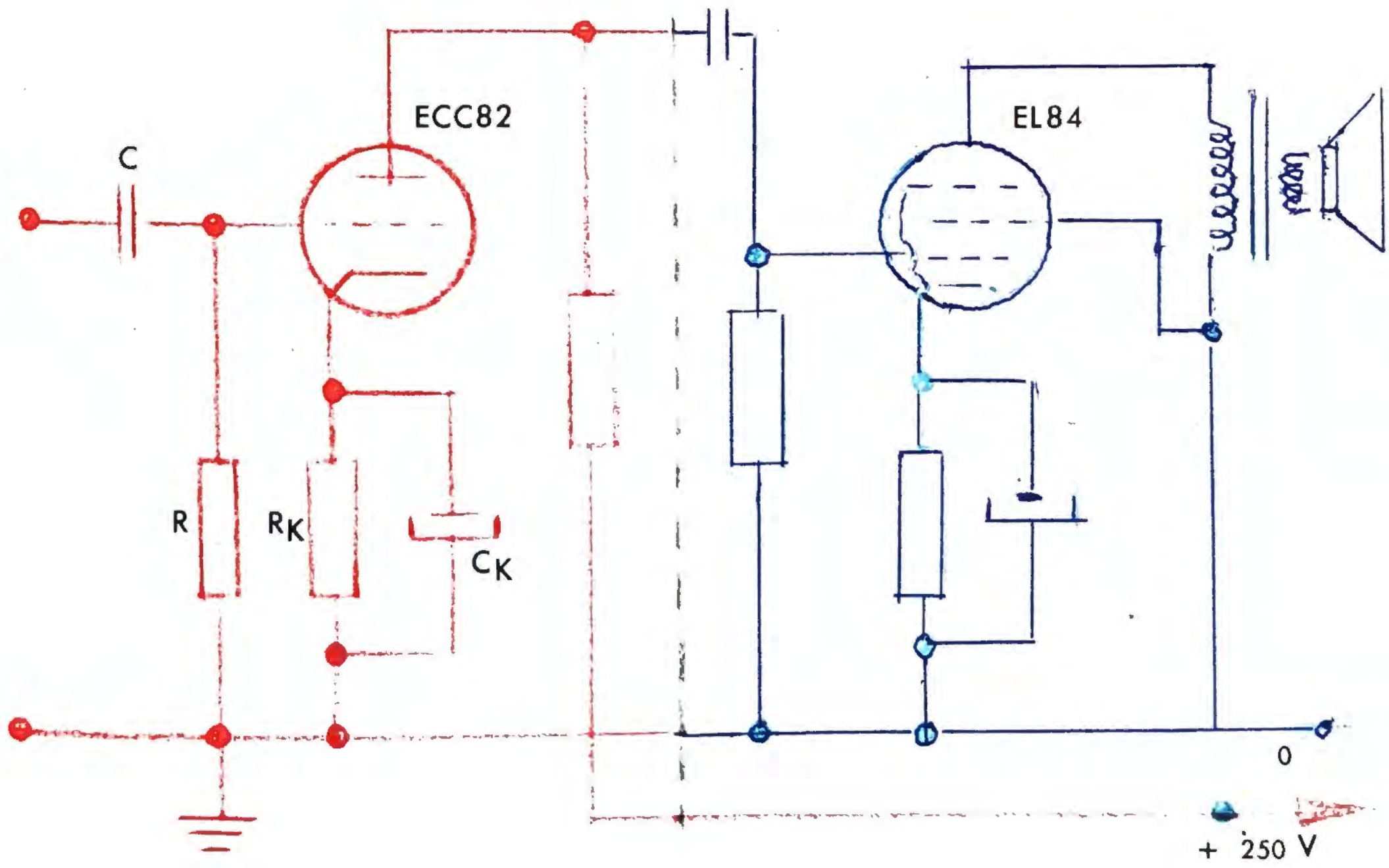
En este caso, muy corriente, deberá aumentarse la sensibilidad del amplificador añadiendo una primera etapa amplificadora de tensión. Es decir: se tratará de un amplificador con dos etapas, la primera de las cuales será un amplificador de tensión que lo mismo puede estar formado por un triodo que por un pentodo. Estudiaremos los dos casos empezando por el proyecto de una etapa amplificadora de tensión por triodo, en la que utilizaremos una mitad de la ECC82 con la que ya hemos trabajado.

AMPLIFICADOR DE TENSION CON LA ECC82

Abordamos el tema con la ventaja de saber perfectamente qué es un amplificador de tensión y la forma de acoplar las distintas etapas de que consta o puede constar un amplificador.

En el ejemplo que nos hemos propuesto, no podemos olvidar que el amplificador de tensión por triodo (1/2 ECC82) es una etapa previa a la amplificadora de potencia, que actuará con la EL84. Por otra parte, la corriente que alimenta el pentodo proviene de la fuente de alimentación que suministra los 250 V necesarios.

Alimentaremos la ECC82 con esta misma ten-



En color: etapa amplificadora de tensión acoplada a una etapa de salida por pentodo (negro). Advierta cómo ambas válvulas se alimentan de la tensión de 250 V suministrada por la fuente de alimentación.

sión, lo que nos permitirá simplificar el montaje.

Cuando se coloca un paso de este tipo la sensibilidad del conjunto aumenta algo más de 10 veces, puesto que la ganancia del amplificador de tensión es algo mayor de 10.

Para determinar los valores de los elementos que intervienen en el montaje podemos proceder exactamente igual que en el caso de la EL84, pero trabajando con las características de la ECC82.

Pero, dado que hemos repetido diversas veces esta operación en las lecciones anteriores, preferimos buscar otra solución: trabajar con los valores que encontramos en las instrucciones del constructor.

Aprendamos a valernos de estas instrucciones. Vea la página contigua, que reservamos para reproducir los datos sobre la ECC82 y la EF86 que nos facilitan los fabricantes.

Debajo del esquema de montaje de la ECC82 aparecen dos recuadros con una serie de valores numéricos. Fije su atención en el esquema y verá cómo nadie se ha preocupado por anotar los valores correspondientes a los siguientes elementos:

R_c = resistencia de carga;
R_g = resistencia del grupo RC para eliminar la componente alterna;
R_K = resistencia de cátodo.

Estos valores no están en el esquema; pero en los recuadros antes citados se dan los valores numéricos correspondientes a las posibles series de valores de estos elementos.

Por ejemplo; el recuadro *b* nos sirve para determinar el funcionamiento del amplificador cuando es:

$$R_c = 100\ K\Omega;\ R_g = 330\ K\Omega;\ R_K = 2'2\ K\Omega$$

Supongamos que, en efecto, hemos elegido estos valores para R_c, R_g, R_K. Cabe la posibilidad de trabajar con tensiones procedentes de la fuente de alimentación V_p = 100 V, 150 V, 200 V, etc.

Es evidente que para cada uno de estos valores de V_p (tensión proporcionada por la fuente de alimentación) y para los valores de resistencia establecidos tendremos los correspondientes valores de I_p, tensión de salida V_s, etc. Estos valores son los que encontramos en la columna del valor V_p elegido, que nos dice cuál será la intensidad de placa I_p expresada en miliamperios, cuál la máxima tensión de salida V_s dada en voltios eficaces, la ganancia $G = V_s/V_e$ y, por último, un dato que para nosotros no tiene aún significado muy preciso: la distorsión, expresada en tanto por ciento, cuando el amplificador rinde la máxima tensión de salida.

En nuestro caso, disponemos de una tensión V_p = 250 V. Por tal motivo, nos interesarán los datos contenidos en la columna cuarta, en la cual podemos leer los valores siguientes:

$$I_p = 1'63\ mA$$
$$V_s = 32\ V_{eff}$$
$$G = 14$$

Este amplificador, pues, puede proporcionar una tensión de salida de 32 V efectivos sin que la distorsión llegue a ser molesta; y como para excitar la EL84 con precisos tan sólo 5 V_{eff}, es evidente que la ECC82 trabajará en muy buenas condiciones.

Por otra parte, la ganancia de esta etapa amplificadora es G = 14. Esto significa que si antes, sin esta etapa, era preciso 1 voltio eficaz para obtener 1 vatio a la salida, bastará ahora una tensión catorce veces menor para conseguir el mismo resultado.

En otras palabras: la sensibilidad del conjunto será ahora de:

Sensibilidad de potencia = 14 vatios/voltio eficaz.

POTENCIA DE DISIPACION DE LAS RESISTENCIAS

Eso es lo que nos falta determinar: la potencia de disipación de las resistencias que intervienen en este paso.

La resistencia de rejilla puede ser de 1/2 vatio. Como en la EL84, es suficiente esta potencia.

Veamos qué potencia de disipación debemos exigir a las resistencias R_c y R_K. Es cálculo directo, puesto que conocemos su valor óhmico y la intensidad que por ellas circula. Además, recordamos con claridad que:

$$W = R \times I^2$$

(I^2: Intensidad en amperios; R: Resistencia en ohmios)

Luego; para la resistencia R_c de 100 KΩ,

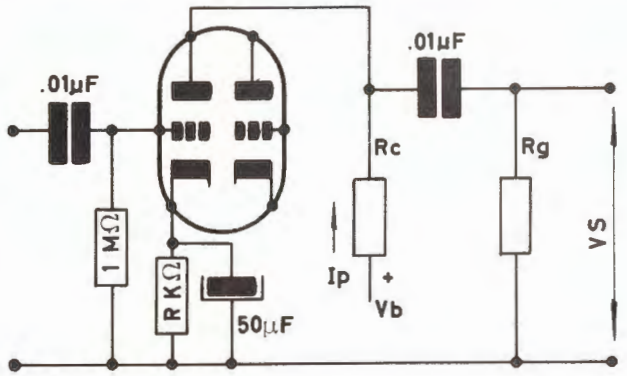
$$W = 100000 \times 0'00163^2 \sim 0'265\ vatios$$

Resulta un valor que no es standard; debemos utilizar una resistencia de 100 KΩ, 1/2 W.

En cuanto a R_K, de menor valor óhmico y recorrida por la misma intensidad, fatalmente de-

CARACTERISTICAS DE UTILIZACION DE LA ECC82 COMO AMPLIFICADOR DE B. F.

V filamento = 6'3 V I filamento = 0'3 A



a) R_c = 47 KΩ R_g = 150 KΩ R_k = 1'2 KΩ

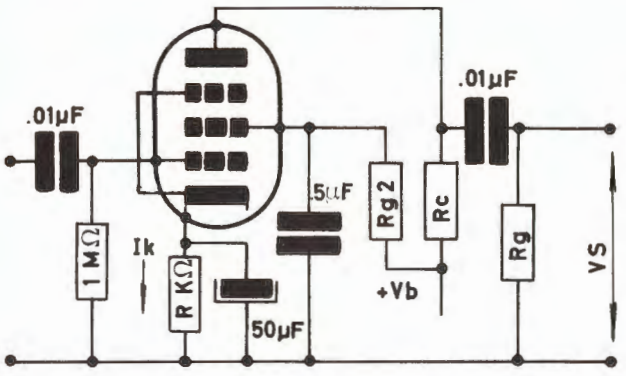
V_b (V)	100	150	200	250	300	350	400
I_p (mA)	1'20	1'82	2'41	3'02	3'65	4'30	5'00
V_s (V_{ef})	11	18	26	34	43	51	59
G	13'5	13'5	13'5	13'5	13'5	13'5	13'5
d_{tot} (%)	5'6	6'1	6'3	6'4	6'5	6'6	6'7

b) R_c = 100 KΩ R_g = 330 KΩ R_k = 2'2 KΩ

V_b (V)	100	150	200	250	300	350	400
I_p (mA)	0'66	0'98	1'30	1'63	1'97	2'30	2'62
V_s (V_{ef})	10	17	25	32	41	49	57
G	14	14	14	14	14	14	14
d_{tot} (%)	4'8	5'6	5'8	5'9	6'0	6'1	6'2

CARACTERISTICAS DE UTILIZACION DE LA EF86 COMO AMPLIFICADOR DE B. F.

V filamento = 6'3 V I filamento = 0'3 A



a) R_c = 100 KΩ R_g = 330 KΩ d_{tot} = 5 %

V_b (V)	100	200	250	300	350	400
I_k (mA)	1	1'7	2'1	2'5	2'9	3'3
R_{g2} (KΩ)	470	390	390	390	390	390
R_k (Ω)	1500	1000	1000	1000	1000	1000
G	95	106	112	116	120	124
V_s (V_{ef})	22	40	50	64	75	87

b) R_c = 220 KΩ R_g = 680 KΩ d_{tot} = 5 %

V_b (V)	100	200	250	300	350	400
I_k (mA)	0'6	0'8	0'9	1'1	1'4	1'6
R_{g2} (KΩ)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
R_k (Ω)	2700	2200	2200	22002	2200	2200
G	150	170	180	188	196	200
V_s (V_{ef})	24'5	36	46	54	63	73

berá disipar menor potencia, de forma que, sin más preocupación, podemos utilizar también una resistencia de 0'5 vatios.

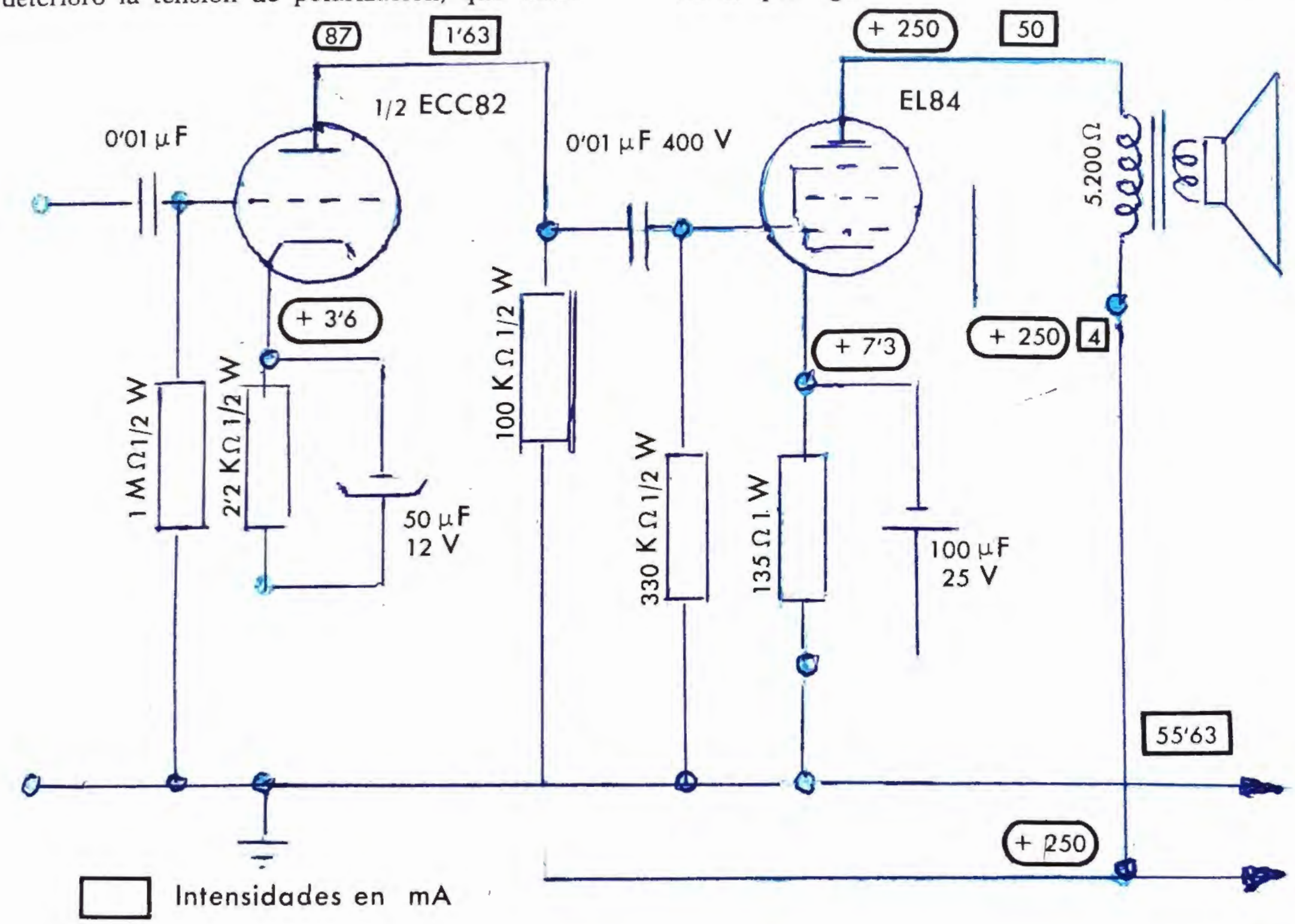
¿Y el condensador de cátodo de la ECC82? ¿Qué características debe tener?

Deberá ser electrolítico y capaz de soportar sin deterioro la tensión de polarización, que vale:

$$V = 2200\ \Omega \times 0'00163\ A \sim 3'65\ V$$

Trabajando con un condensador cuyo aislamiento esté garantizado para 12 V, tenemos más que suficiente.

En definitiva: el esquema teórico del amplificador de dos etapas que venimos calculando sería el que sigue.



Esquema teórico de un amplificador de sonido con dos etapas. La primera, con media ECC82 como amplificador de tensión; la etapa de salida con una EL84 como amplificadora de potencia.

AMPLIFICADOR DE TENSION CON EL PENTODO EF86

Para dar por terminada esta lección, veremos cómo se utiliza el pentodo EF86, especialmente ideado para actuar como amplificador de tensión; está particularmente proyectado para cumplir esta misión.

Procederemos de forma simplificada, apoyándonos directamente en los valores característicos dados por el fabricante, igual que como se ha hecho hace poco con la ECC82. Esos valores se encuentran precisamente al lado de los de la ECC82.

El esquema teórico es el de la figura adjunta.

Por el esquema puede darse cuenta de algunas particularidades:

1. Un puente exterior a la válvula que une la rejilla supresora con el cátodo. Es necesario porque la EF86 carece de la conexión interior.

berá disipar menor potencia, de forma que, sin más preocupación, podemos utilizar también una resistencia de 0'5 vatios.

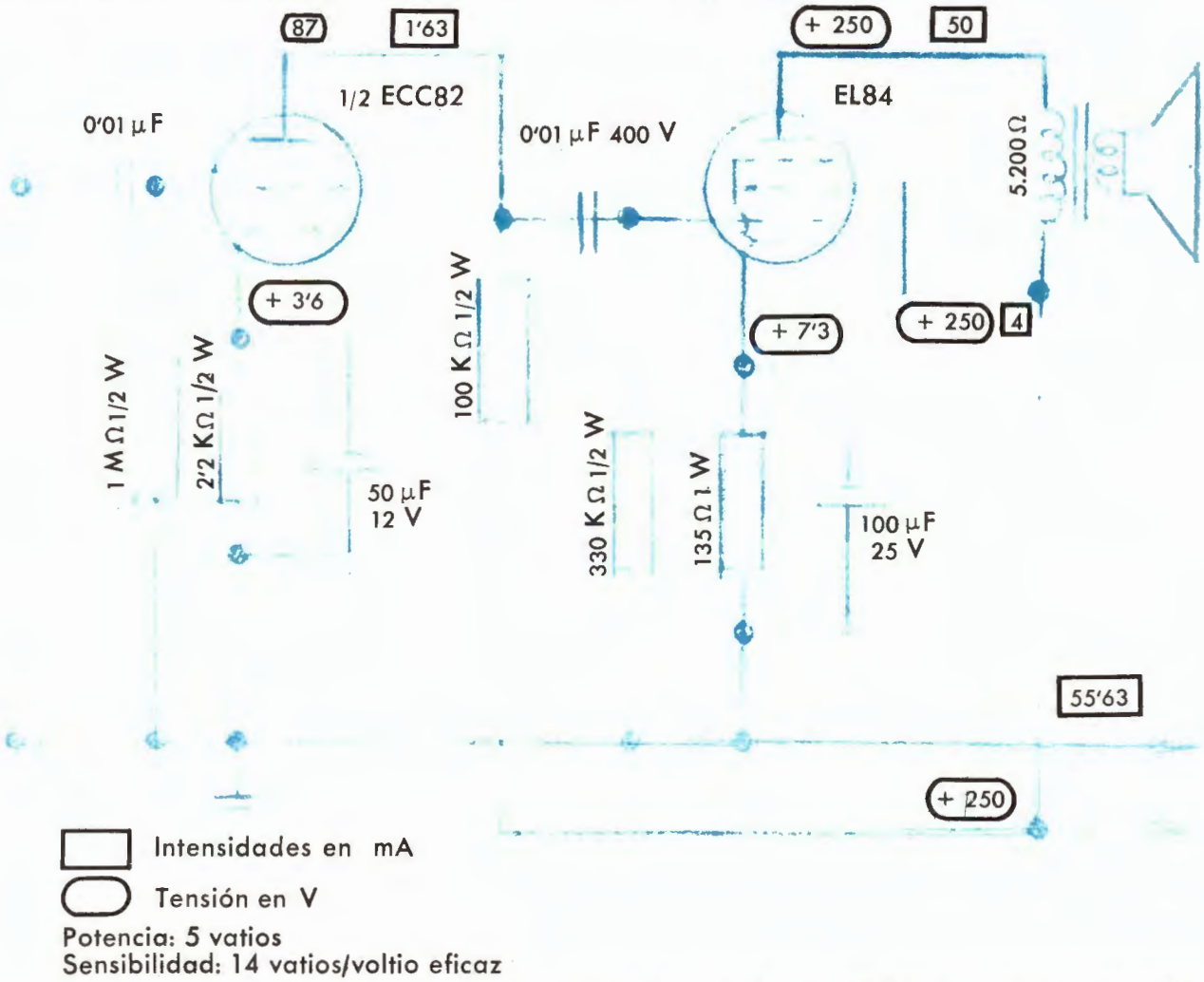
¿Y el condensador de cátodo de la ECC82? ¿Qué características debe tener?

Deberá ser electrolítico y capaz de soportar sin deterioro la tensión de polarización, que vale:

$$V = 2200\ \Omega \times 0'00163\ A \sim 3'65\ V$$

Trabajando con un condensador cuyo aislamiento esté garantizado para 12 V, tenemos más que suficiente.

En definitiva: el esquema teórico del amplificador de dos etapas que venimos calculando sería el que sigue.



Esquema teórico de un amplificador de sonido con dos etapas. La primera, con media ECC82 como amplificador de tensión; la etapa de salida con una EL84 como amplificadora de potencia.

AMPLIFICADOR DE TENSION CON EL PENTODO EF86

Para dar por terminada esta lección, veremos cómo se utiliza el pentodo EF86, especialmente ideado para actuar como amplificador de tensión; está particularmente proyectado para cumplir esta misión.

Procederemos de forma simplificada, apoyándonos directamente en los valores característicos dados por el fabricante, igual que como se ha hecho hace poco con la ECC82. Esos valores se encuentran precisamente al lado de los de la ECC82.

El esquema teórico es el de la figura adjunta.

Por el esquema puede darse cuenta de algunas particularidades:

1. Un puente exterior a la válvula que une la rejilla supresora con el cátodo. Es necesario porque la EF86 carece de la conexión interior.

2. La rejilla pantalla no está directamente conectada a la alta tensión, sino a través de una resistencia R_{g2}; además lleva un condensador C_{g2} conectado al chasis (a masa) por su extremo opuesto.

¿Qué función desempeñan estos elementos? Es sencillo:

Sabemos que la pantalla del pentodo requiere un potencial fijo para su buen funcionamiento, potencial que para la EF86 es bastante más bajo que el que suministra la fuente de alimentación. Para obtener este potencial se intercala la resistencia R_{g2}, que proporciona la caída de tensión necesaria.

CALCULO DE R_{g2}

Para calcular el valor de R_{g2} es preciso conocer la tensión V_{g2} a que debe funcionar la pantalla, la intensidad I_{g2} que circulará por ella y la tensión proporcionada por la fuente de alimentación.

En el grafico adjunto puede deducir que el exceso de tensión que necesitamos eliminar es $V_b - V_{g2}$. Luego, la resistencia R_{g2} debe proporcionar una caída de tensión del valor dado por esta diferencia. Sabiendo que la intensidad que circulará por R_{g2} es I_{g2}, el valor en ohmios de la resistencia será:

$$R_{g2} = \frac{V_b - V_{g2}}{I_{g2}}$$

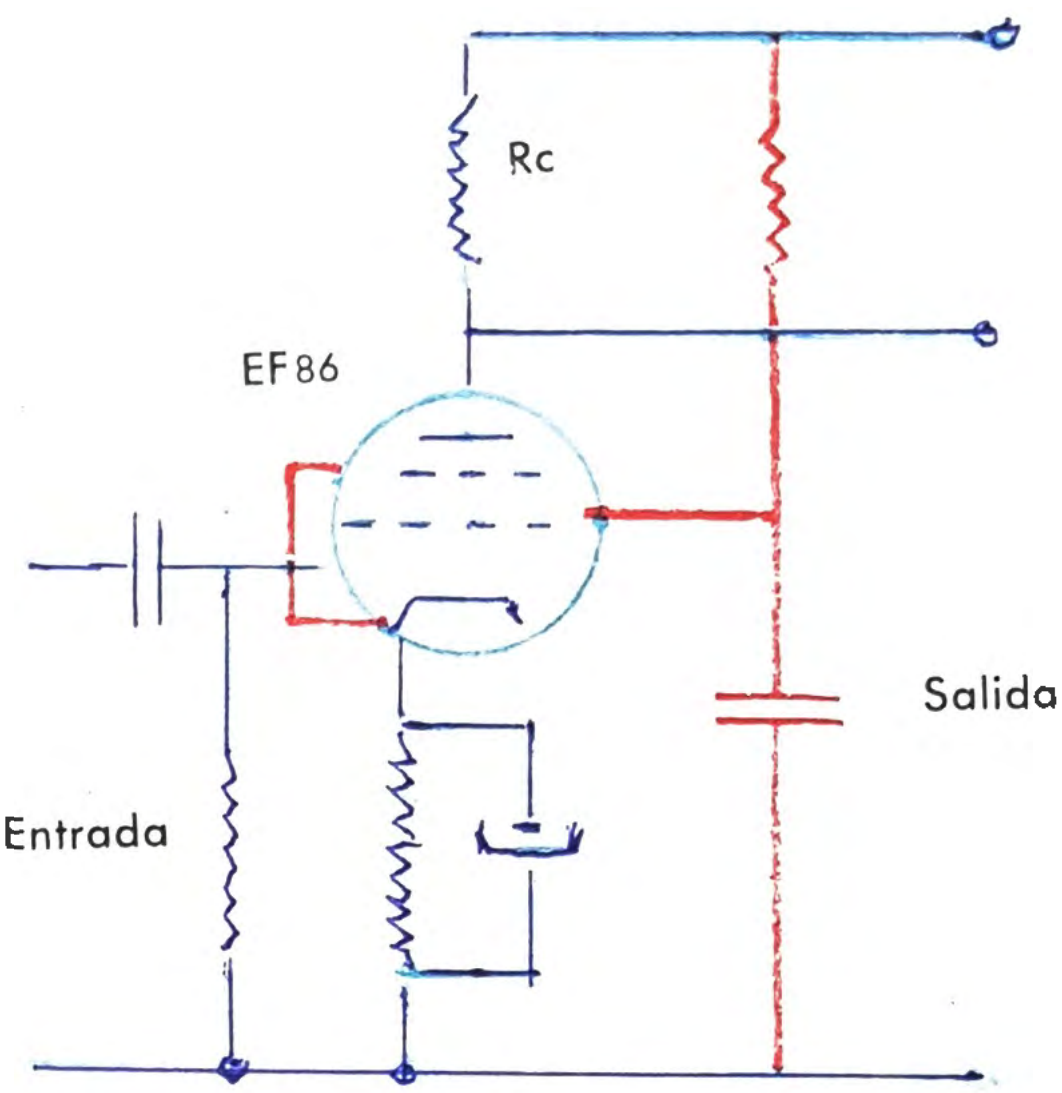
De momento, todo es elemental. Pero ¿y el condensador C_{g2}? ¿Qué hace...? Pues verá:

Cuando el potencial de la rejilla de control experimente una variación por habérsele aplicado una señal cualquiera, fatalmente variará el valor de I_{g2}.

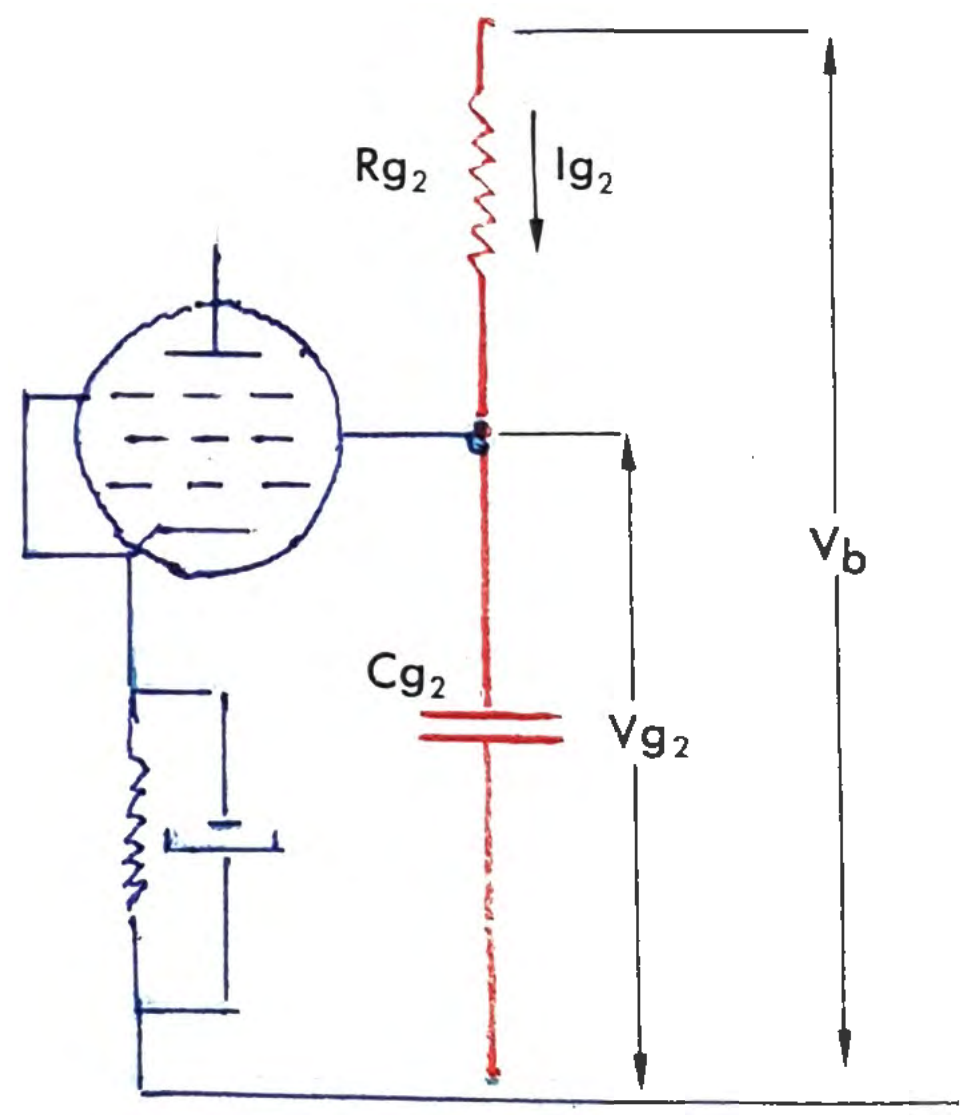
Si no existiese otra cosa que la resistencia R_{g2}, el potencial de pantalla V_{g2} no será constante, cosa que está en contra de las necesidades de funcionamiento del pentodo. Para remediarlo se añade el condensador C_{g2}, cuyo efecto, como ya sabemos, es impedir las variaciones de tensión entre los puntos a los que está conectado.

Claro que, en rigor, este condensador debiera conectarse entre la pantalla y el cátodo; pero, habida cuenta que el cátodo está sometido a un potencial fijo respecto al chasis, se consigue prácticamente el mismo resultado haciendo la conexión a masa. Ésta es la solución normalmente empleada, que resulta muchísimo más cómoda.

Con estas consideraciones por delante, ya no existe ninguna dificultad para interpretar el montaje indicado en el cuadro de características de la EF86.



del montaje del pentodo EF86 amplificador de tensión. Vea en color rojo las conexiones características de este montaje.



La caída de tensión que proporcione R_{g2} para una intensidad I_{g2} debe ser $V_b - V_{g2}$.

2. La rejilla pantalla no está directamente conectada a la alta tensión, sino a través de una resistencia R_{g2}; además lleva un condensador C_{g2} conectado al chasis (a masa) por su extremo opuesto.

¿Qué función desempeñan estos elementos? Es sencillo:

Sabemos que la pantalla del pentodo requiere un potencial fijo para su buen funcionamiento, potencial que para la EF86 es bastante más bajo que el que suministra la fuente de alimentación. Para obtener este potencial se intercala la resistencia R_{g2}, que proporciona la caída de tensión necesaria.

CALCULO DE R_{g2}

Para calcular el valor de R_{g2} es preciso conocer la tensión V_{g2} a que debe funcionar la pantalla, la intensidad I_{g2} que circulará por ella y la tensión proporcionada por la fuente de alimentación.

En el grafico adjunto puede deducir que el exceso de tensión que necesitamos eliminar es $V_b - V_{g2}$. Luego, la resistencia R_{g2} debe proporcionar una caída de tensión del valor dado por esta diferencia. Sabiendo que la intensidad que circulará por R_{g2} es I_{g2}, el valor en ohmios de la resistencia será:

$$R_{g2} = \frac{V_b - V_{g2}}{I_{g2}}$$

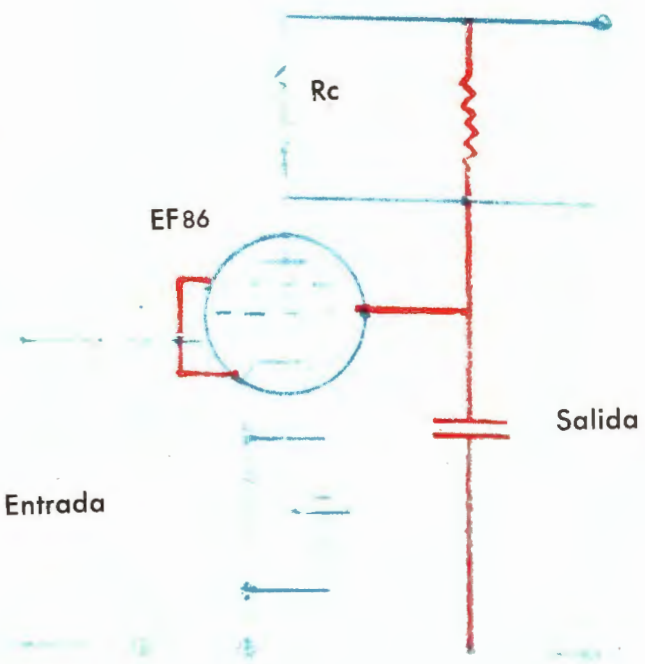
De momento, todo es elemental. Pero ¿y el condensador C_{g2}? ¿Qué hace...? Pues verá:

Cuando el potencial de la rejilla de control experimente una variación por habérsele aplicado una señal cualquiera, fatalmente variará el valor de I_{g2}.

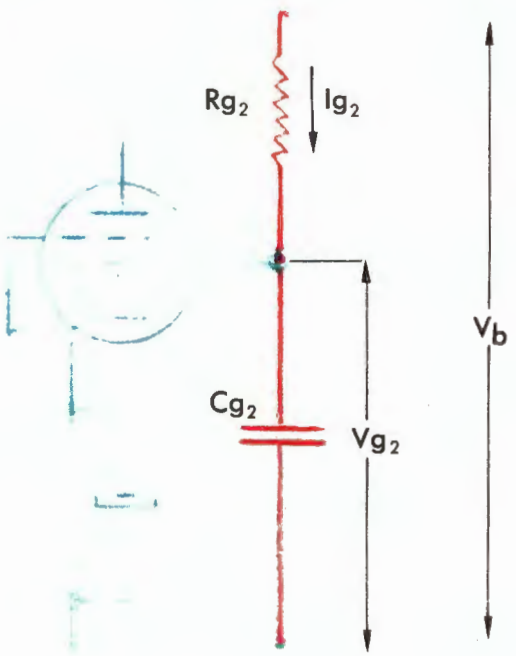
Si no existiese otra cosa que la resistencia R_{g2}, el potencial de pantalla V_{g2} no será constante, cosa que está en contra de las necesidades de funcionamiento del pentodo. Para remediarlo se añade el condensador C_{g2}, cuyo efecto, como ya sabemos, es impedir las variaciones de tensión entre los puntos a los que está conectado.

Claro que, en rigor, este condensador debiera conectarse entre la pantalla y el cátodo; pero, habida cuenta que el cátodo está sometido a un potencial fijo respecto al chasis, se consigue prácticamente el mismo resultado haciendo la conexión a masa. Esta es la solución normalmente empleada, que resulta muchísimo más cómoda.

Con estas consideraciones por delante, ya no existe ninguna dificultad para interpretar el montaje indicado en el cuadro de características de la EF86.



del montaje del pentodo EF86 amplificador de tensión. Vea en color rojo las conexiones características de este montaje.



La caída de tensión que proporcione R_{g2} para una intensidad I_{g2} debe ser $V_b - V_{g2}$.

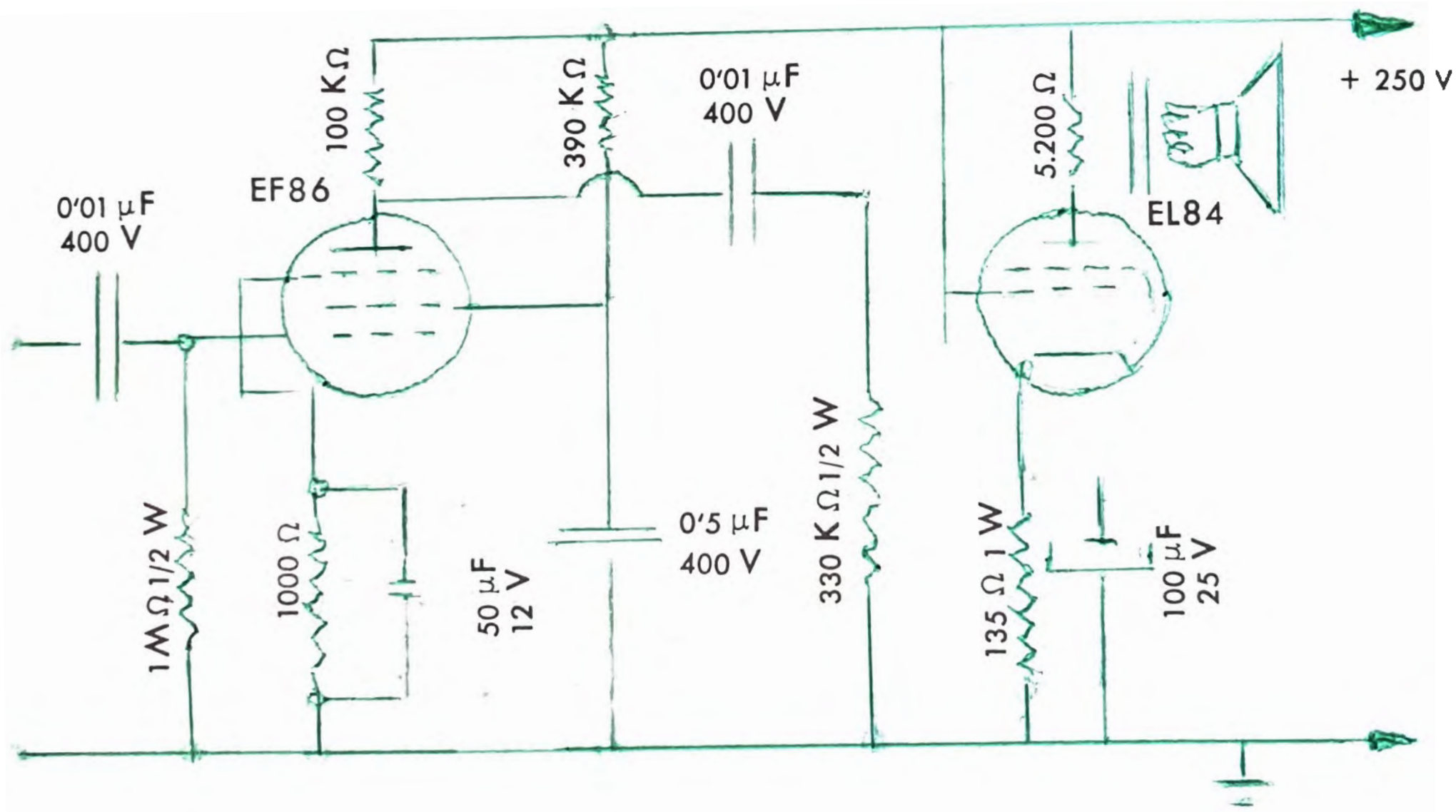
Queremos utilizar el pentodo como válvula amplificadora de tensión para construir un amplificador de sonido con una EL84 como amplificadora de potencia. Será, pues, un amplificador de dos etapas. Bastará con tener presente que disponemos de una tensión $V_b = 250$ V y que el grupo RC de acoplamiento se ha elegido con los valores $C = 0'01$ μF y $R = 330$ KΩ.

Para estos valores, la tabla de características nos da las indicaciones siguientes:

$V_b = 250$ V
$R_c = 100$ KΩ
$R_{g2} = 390$ KΩ
$R_K = 1000$ Ω
$I_{g2} = 2'05$ mA
$G = 112$

Con estos datos podemos trazar el esquema completo:

Observe que la ganancia del pentodo EF86 es



Amplificador de dos etapas con una EF86 como amplificadora de tensión y una EL84 como válvula de salida.

$G = 112$ y que, en consecuencia, la sensibilidad del conjunto resultará mucho mayor que en el caso de utilizar la ECC82 sólo a costa de añadir como material adicional una resistencia y un condensador, al que suele darse el nombre de *condensador de desacoplo*.

Pero no crea que son todo ventajas utilizando el pentodo para la primera etapa. Piense que, prácticamente por el mismo precio de una EF86, tenemos una ECC82, que incluye dos triodos y no uno sólo, lo que permite (al conectarlos en cascada) una ganancia que aún puede ser mayor que la obtenida con el pentodo. Además, el doble triodo permite mayor libertad de diseño.

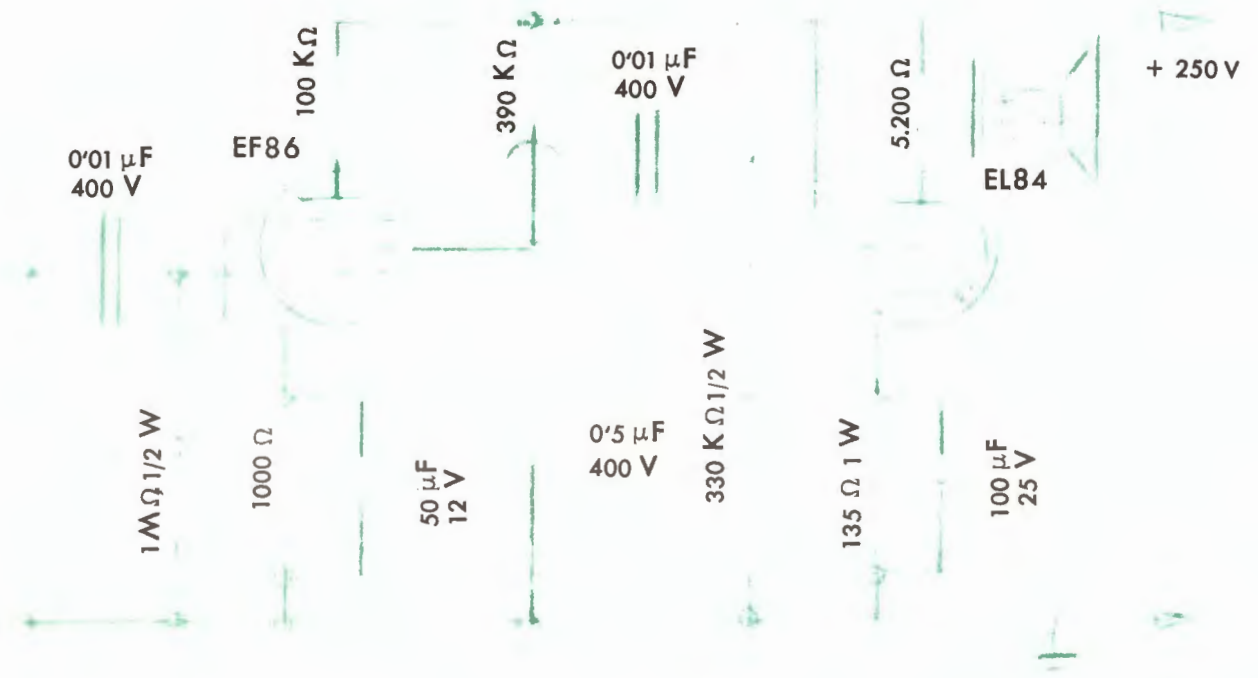
Queremos utilizar el pentodo como válvula amplificadora de tensión para construir un amplificador de sonido con una EL84 como amplificadora de potencia. Será, pues, un amplificador de dos etapas. Bastará con tener presente que disponemos de una tensión $V_b = 250$ V y que el grupo RC de acoplamiento se ha elegido con los valores $C = 0'01$ μF y $R = 330$ KΩ.

Para estos valores, la tabla de características nos da las indicaciones siguientes:

$V_b = 250$ V
$R_c = 100$ KΩ
$R_{g2} = 390$ KΩ
$R_K = 1000$ Ω
$I_{g2} = 2'05$ mA
$G = 112$

Con estos datos podemos trazar el esquema completo:

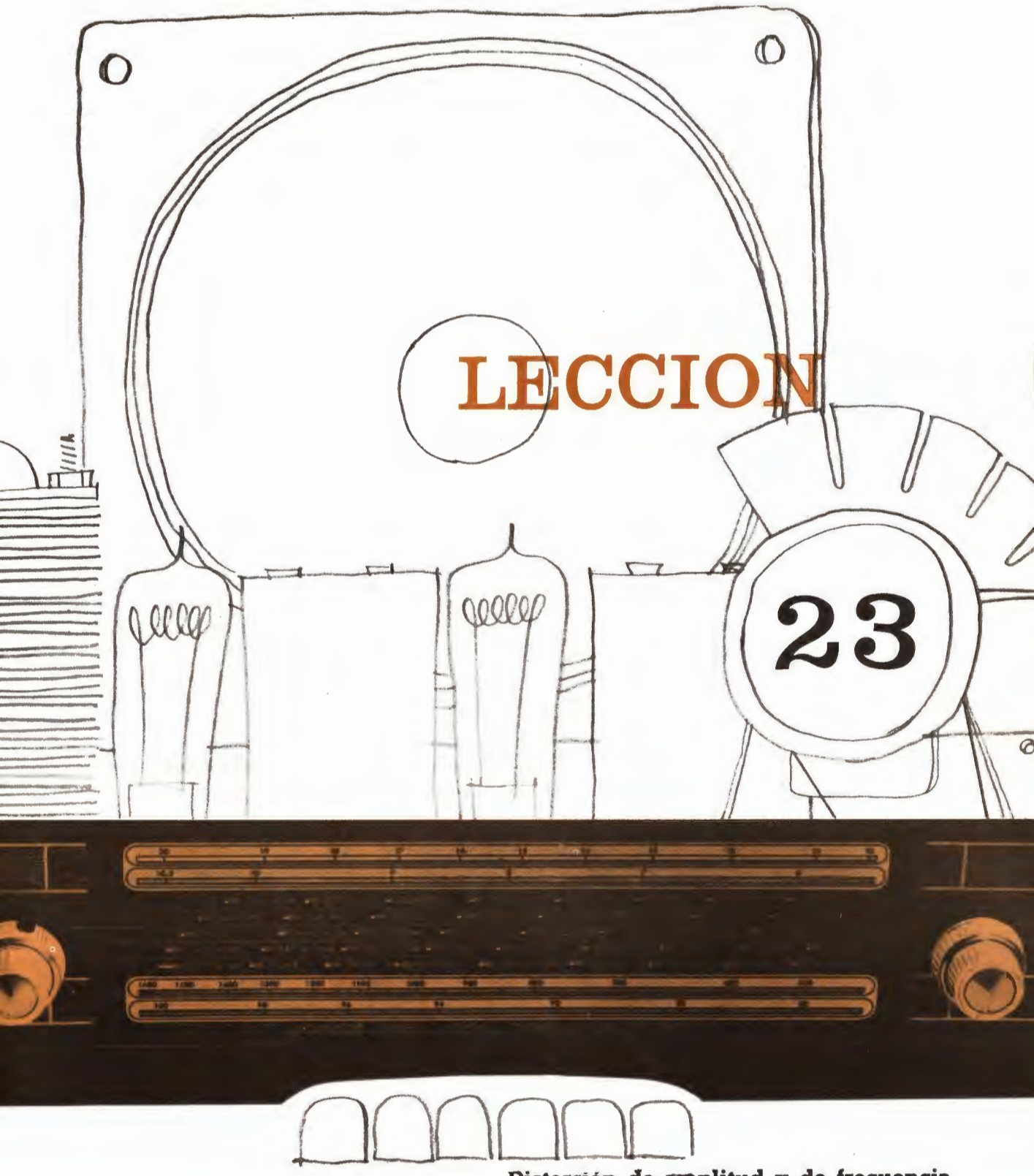
Observe que la ganancia del pentodo EF86 es



Amplificador de dos etapas con una EF86 como amplificadora de tensión y una EL84 como válvula de salida.

$G = 112$ y que, en consecuencia, la sensibilidad del conjunto resultará mucho mayor que en el caso de utilizar la ECC82 sólo a costa de añadir como material adicional una resistencia y un condensador, al que suele darse el nombre de *condensador de desacoplo.*

Pero no crea que son todo ventajas utilizando el pentodo para la primera etapa. Piense que, prácticamente por el mismo precio de una EF86, tenemos una ECC82, que incluye dos triodos y no uno sólo, lo que permite (al conectarlos en cascada) una ganancia que aún puede ser mayor que la obtenida con el pentodo. Además, el doble triodo permite mayor libertad de diseño.



LECCION 23

Distorsión de amplitud y de frecuencia

Capacidades parásitas

Curva de respuesta de un amplificador

Teorema de Fourier

Amplificador de B.F. tipo comercial, calidad Hi-Fi

La distorsión de amplitud
La distorsión de frecuencia

PUNTO DE PARTIDA

La repetición no es un vicio cuando se pone al servicio de una necesidad. Por ello los inicios de una lección casi siempre representan la repetición de conceptos que deben darse por sabidos, pero que preferimos citar de nuevo para tener un eslabón donde unir los nuevos temas a la ya larga cadena de conocimientos que nos preceden.

Repitamos, pues, lo que nos interesa recordar sobre la distorsión para tener un punto de partida en este nuevo viaje que vamos a emprender.

Sabemos que el micrófono y el altavoz, así como el amplificador, son tres factores que contribuyen en mayor o menor grado a la distorsión de los sonidos reproducidos.

Por lo que al amplificador se refiere, no sólo las válvulas son causa de distorsión (cuestión ésta que hemos estudiado con suficiente amplitud), sino también otros componentes, tales como el transformador de salida, los transformadores de acoplamiento (si los hay) y las capacidades de acoplamiento (cuando se efectúa por un grupo resistencia-condensador). Otra causa de distorsión, de la que luego hablaremos, son las llamadas *capacidades parásitas*.

Hemos enumerado algunas causas de distorsión, pero debemos añadir que la forma en que estos componentes contribuyen al fenómeno no es igual en todos los casos. Precisamente, el objeto de esta lección es el estudio de las distintas formas en que puede presentarse la distorsión de los sonidos. Conociendo las causas podremos evitarlas en lo posible.

DISTORSION DE AMPLITUD

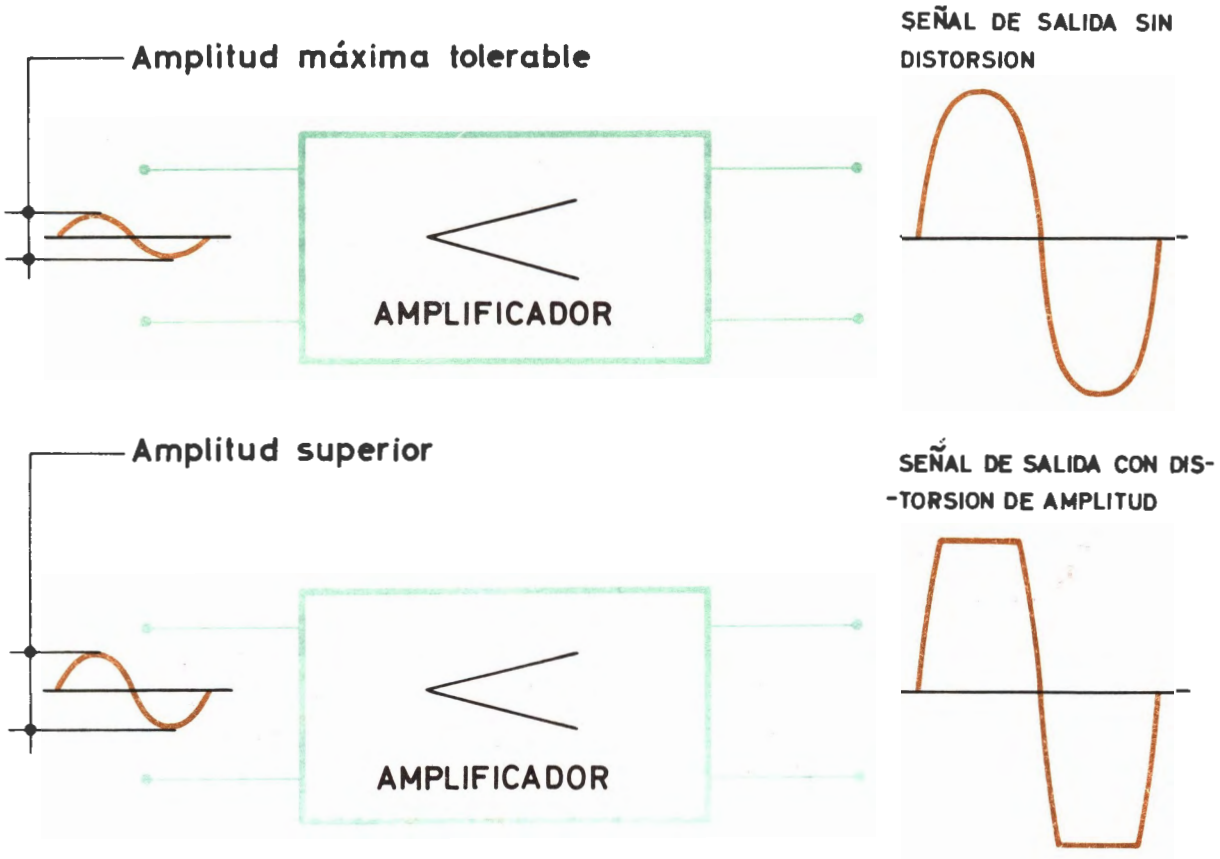
Como ejemplo de lo que acabamos de apuntar, recordemos lo que ocurre con las válvulas.

Cuando analizamos las causas debido a las cuales las válvulas pueden producir distorsión, vimos que, en última instancia, aparecía una causa inmediata: sus características no son rigurosamente rectas en el tramo que, por definición, debiera ser una recta perfecta. El *tramo recto* es más o menos curvo, lo que se pone de manifiesto tanto más cuanto más amplias son las señales que *maneja* la válvula.

Si tanto aumentamos la señal a la entrada — recuérdelo —, alcanzamos una amplitud para la cual la rejilla se hace positiva, alcanza la tensión de corte..., o ambas cosas al mismo tiempo. En estos casos sucede que la señal de salida mantiene una amplitud que, prácticamente, es estacionaria (que no aumenta). Pero, además, sus picos quedan cortados; la señal adquiere una forma apreciablemente diferente en comparación con la forma de la señal a la entrada. Se produce una distorsión manifiesta, que se caracteriza por el hecho de que a partir de un cierto valor de la señal a la entrada no existe proporcionalidad entre dicha amplitud y la amplitud que alcanza la señal a la salida del amplificador que distorsiona.

A este tipo de distorsión, que es tanto mayor cuanto mayores son las señales aplicadas, se le llama DISTORSIÓN DE AMPLITUD y, en otras ocasiones, DISTORSIÓN DE TONALIDAD.

En nuestro gráfico queremos simbolizar esta forma de distorsión.



A partir de cierta amplitud de la señal de entrada, todo aumento de la misma representa una distorsión en la señal de salida. Es lo que caracteriza la distorsión de amplitud.

Se comprende que la solución inmediata para evitar este tipo de distorsión está en evitar que las señales aplicadas al amplificador tengan una amplitud que exceda la máxima aceptable para no deformar las señales a la salida. Es decir: la amplitud de las señales inyectadas a la entrada del amplificador no debe rebasar el límite para el que dicho amplificador ha sido calculado. Y conste que a este tipo de distorsión no sólo contribuyen las válvulas, sino que también contribuyen los transformadores de acoplamiento; y de manera muy especial el transformador de salida. Analizaremos un poco más adelante esta última causa de distorsión de amplitud.

DISTORSION DE FRECUENCIA

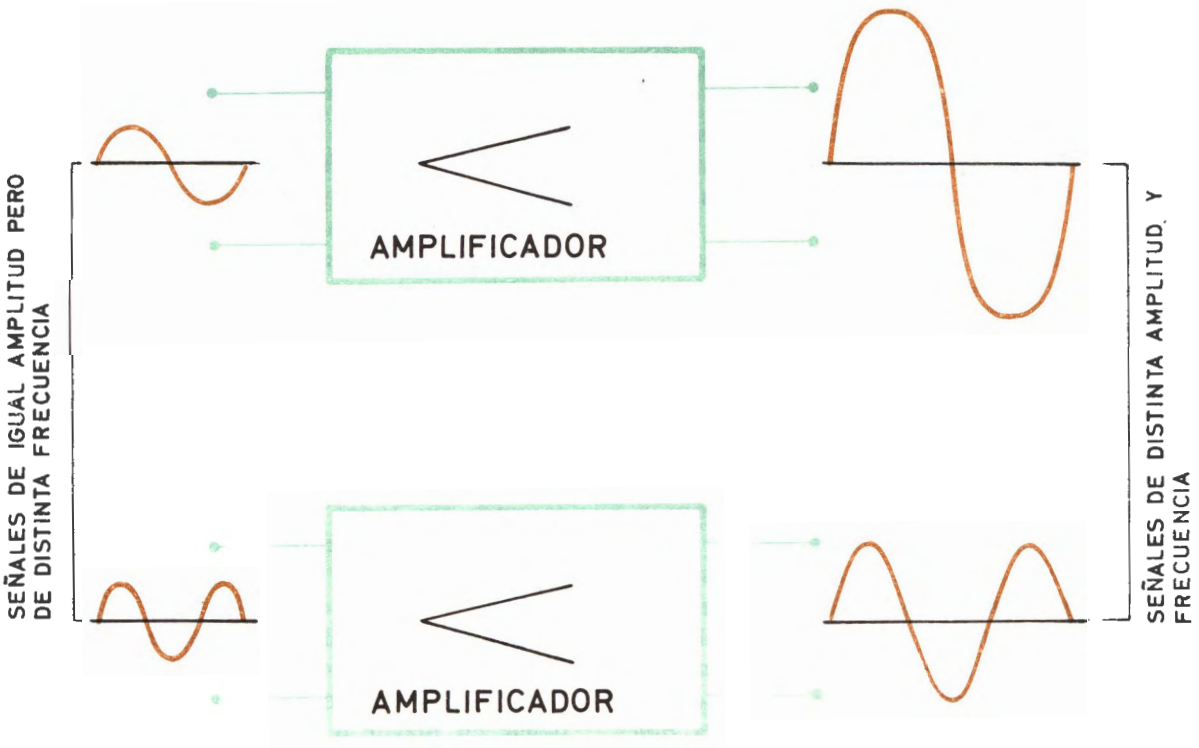
¡Cuidado! No vaya a formarse, de buenas a primeras, un falso concepto de lo que debe entenderse por distorsión de frecuencia.

Puede parecer, por similitud con el enunciado anterior, que la distorsión de frecuencia se da por el hecho de obtener señales de salida cuya frecuencia es diferente de la que tienen sus correspondientes señales a la entrada. ¡No se trata de esto!

La cuestión a considerar es la siguiente:

La gama de audio (frecuencias audibles) está comprendida entre 20 c/s y 16.000 c/s. Cualquier vibración del aire cuya frecuencia se encuentre entre estos límites será percibida por el oído humano.

En consecuencia, un amplificador no será absolutamente fiel mientras no sea capaz de amplificar en igual proporción todas las señales eléctricas procedentes del micrófono, detector, disco o cinta magnética, por ejemplo, comprendidas dentro de la gama de audio, *cualquiera que sea su frecuencia.*



El amplificador distorsiona en frecuencia. La segunda señal de salida debiera tener la misma amplitud que la primera, puesto que las señales a la entrada tienen la misma amplitud. El amplificador tiene distinta ganancia para la señal de mayor frecuencia.

Piense en lo que ocurriría si el amplificador de un tocadiscos, por ejemplo, sólo fuese capaz de amplificar las señales de audio de frecuencia más baja; es decir las correspondientes a los sonidos más graves. Pretender captar toda la belleza sonora de una composición sinfónica sería un imposible total, porque al no estar el amplificador capacitado para aumentar la amplitud de las señales de la gama de audio que pertenecen a las frecuencias más elevadas de la grabación, oiríamos tan sólo aquellos instrumentos concebidos para producir sonidos graves: fagot, contrabajo, timbales, etc. De violines, flautas, óboes y demás instrumentos de sonoridad más bien aguda..., nada de nada. Es evidente que la reproducción no podría calificarse de fiel.

CUANDO UN AMPLIFICADOR TIENE DISTINTA GANANCIA PARA SEÑALES DE DISTINTA FRECUENCIA, SE DICE QUE PRESENTA DISTORSIÓN DE FRECUENCIA.

Es una realidad que, excepto en los amplificadores de mucho valor, la ganancia de los amplificadores (o, mejor dicho, su sensibilidad de potencia) disminuye a medida que la frecuencia de las señales se acerca a los límites de la gama de audio. Es decir: distorsionan tanto para los sonidos muy agudos como para los sonidos muy graves. Es una lástima, pero es así. La perfección es siempre difícil de conseguir.

Todos los componentes del amplificador citados anteriormente, incluidos las válvulas y transformadores, pueden contribuir a la distorsión de frecuencia.

DISTORSION DE AMPLITUD Y FRECUENCIA CAUSADAS POR EL TRANSFORMADOR DE SALIDA

Cuando la ciencia pretende profundizar en la naturaleza de los fenómenos físicos, advierte que la sencillez de muchas cosas es más aparente que real. Bajo un manto de simplicidad muchas veces se esconde un cúmulo de fenómenos cuyo estudio lleva al científico de cálculo en cálculo, hasta sumergirle en un océano de ecuaciones, a cual más complicada.

Uno de estos casos es el de un transformador. Cuando se quiere hacer un estudio detallado, resulta que no se trata de una cuestión tan simple como puede hacer pensar la innegable simplicidad constructiva del aparato. Los transformadores, en efecto, ofrecen serias dificultades para su estudio total; estudio que escapa de los límites que nos hemos fijado en esta obra. Por tanto, limitaremos el estudio que sigue a las cuestiones fundamentales más necesarias para el técnico.

Sabemos que la aparición de propiedades magnéticas en algunas sustancias se debe a su estructura interna, formada por imanes elementales de pequeñez molecular que, cuando están ordenados (se suma el flujo creado por cada uno de ellos), dan propiedades magnéticas a la sustancia que integran. Si estos imanes elementales no mantienen una situación ordenada, la sustancia no presenta propiedades magnéticas.

El hierro dulce, por ejemplo, tiene una estructura de este tipo, generalmente desordenada. Un trozo de hierro cualquiera, en efecto, carece por naturaleza de magnetismo. Sus imanes elementales, llamados *dominios de Weiss*, están en un ab soluto desorden.

Y después de este repaso, pasemos al transformador.

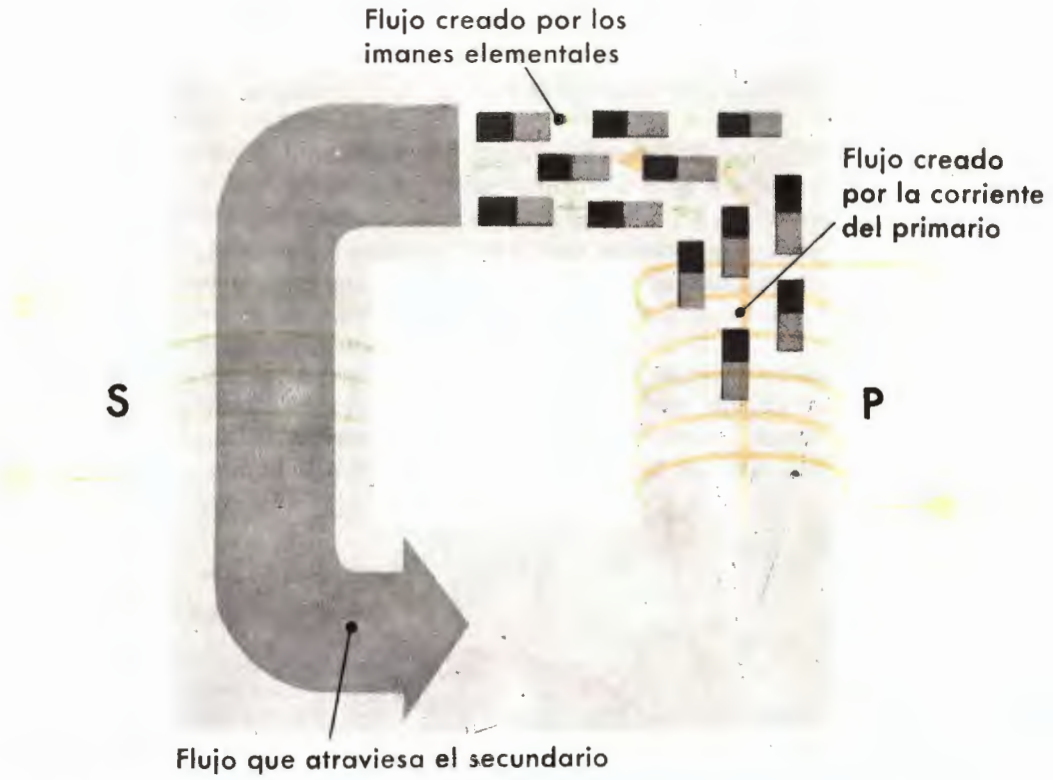
Sabemos que la aparición de corrientes inducidas en el secundario está condicionada a la existencia de un flujo magnético *variable* en el núcleo del transformador.

Además, si deseamos obtener buen rendimiento, deberemos procurar que todo el flujo creado por el primario atraviese el secundario, flujo que intentaremos hacer lo más grande que podamos.

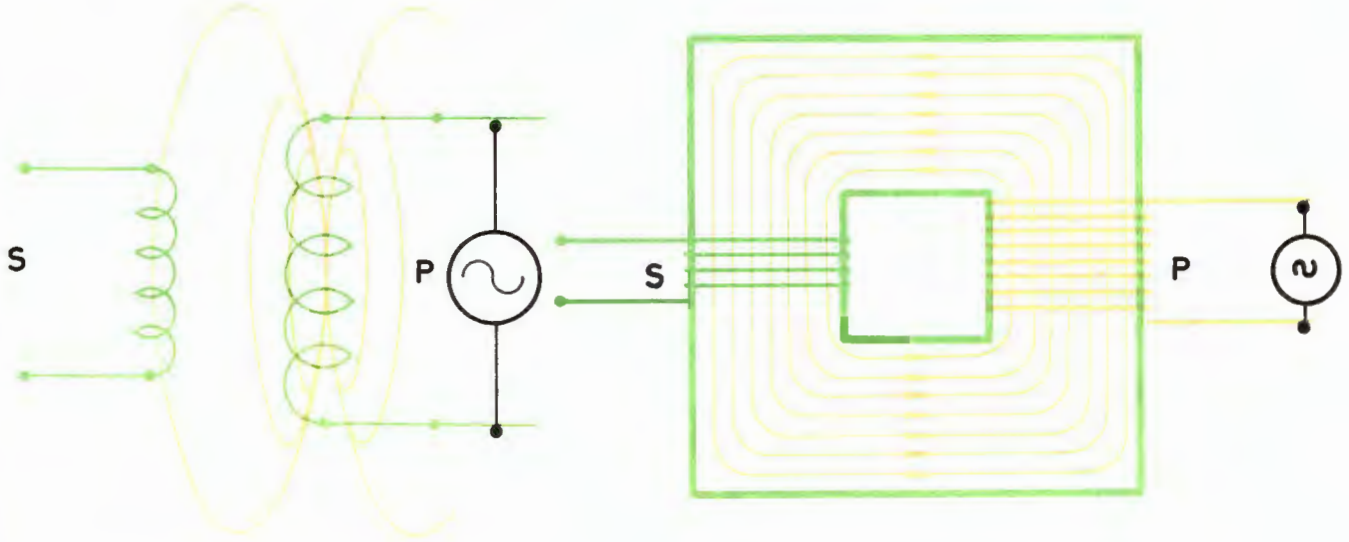
Estas razones son las que aconsejan la incorporación de un núcleo de hierro que atraviesa las bobinas del primario y del secundario y cumple con dos funciones: canalizar las líneas de fuerza, para que todas ellas atraviesen la bobina del secundario, y aumentar el valor del flujo creado por el primario.

El primario, en efecto, crea un flujo magnético de determinado valor, independientemente de la existencia del núcleo de hierro. Si este núcleo existe, el campo creado por el primario consigue ordenar en mayor o menor grado los imanes elementales que constituyen el hierro, en el que aparece un flujo propio que se suma al que ha producido en el primario la corriente alterna que deseamos transformar. El resultado es un flujo mayor; mucho mayor. Tanto como unas trescientas veces.

Se nos ocurre un gráfico simbólico.



En este gráfico pretendemos simbolizar el fenómeno descrito:
El flujo creado por la corriente del primario se suma al flujo total creado por los imanes elementales orientados por el flujo del primario.
El flujo que atraviesa así el secundario es unas 300 veces superior al creado sólo por la corriente del primario.



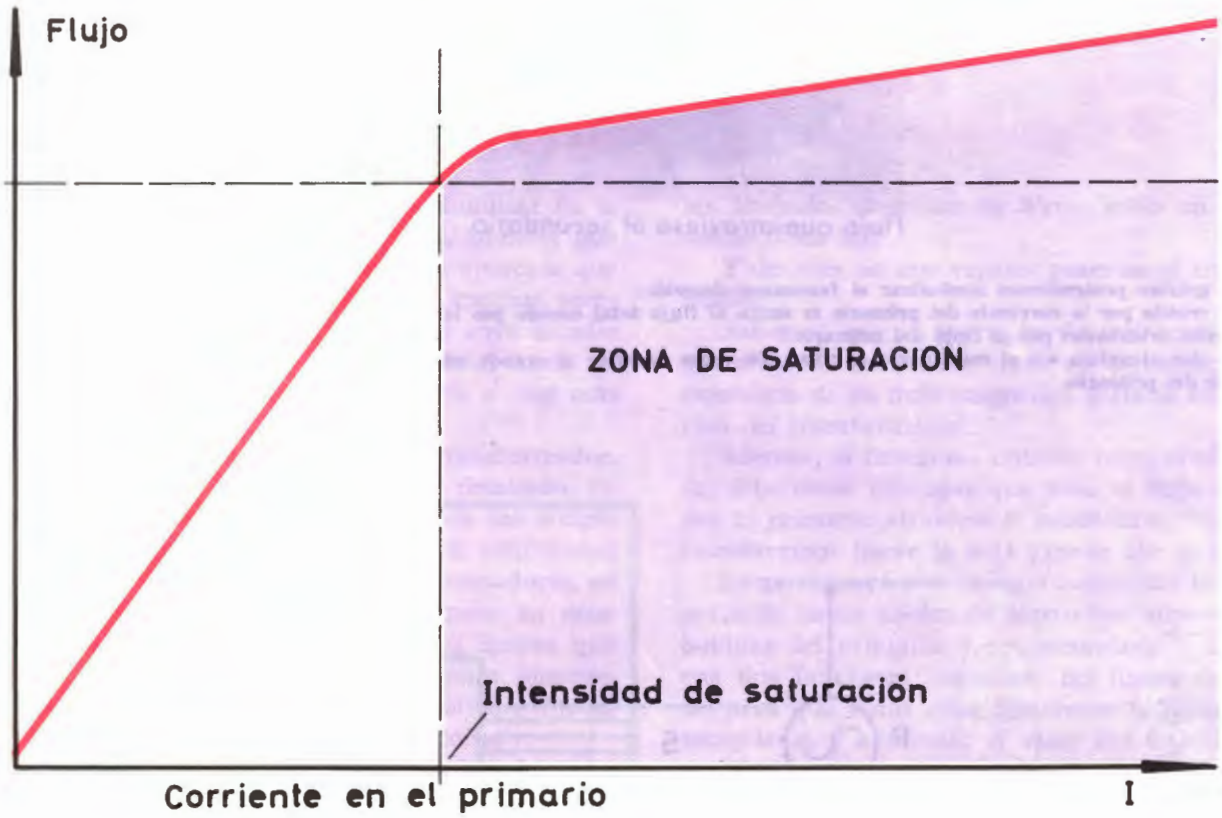
Sin núcleo de hierro el flujo creado por el primario es pequeño. Sólo una pequeña parte del mismo alcanza el secundario. Con núcleo de hierro el flujo es mucho mayor y alcanza en casi su totalidad al secundario.

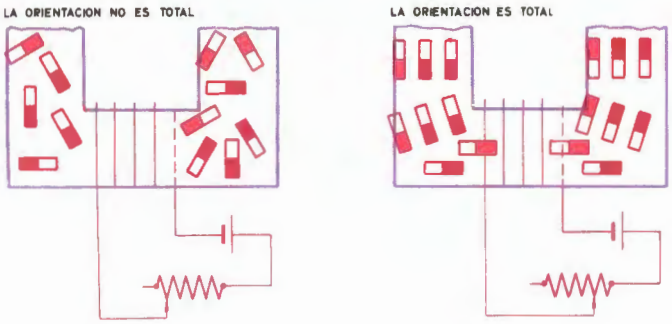
Pero (empezamos a acostumbrarnos a ello) al lado de las ventajas aparecen siempre los inconvenientes; y en el caso de los transformadores no hay excepción. La ventaja, la necesidad del núcleo de hierro tiene su contrapartida: lo que se llama *saturación*.

Se dice que un núcleo está saturado cuando todos los imanes elementales que lo forman se han orientado. Cuando hemos logrado tal orientación gracias a una corriente que circule por la bobina primaria, aunque después de la saturación aumentemos dicha corriente, *el flujo no aumenta de forma apreciable.*

Se comprende este comportamiento si pensamos que el flujo que circula por el núcleo del transformador se debe en su mayor parte a la orientación de sus dominios de Weiss y sólo en una pequeña parte (muy pequeña) al flujo creado por el primario. Una vez se haya alcanzado la saturación del núcleo (no quedarán imanes elementales para orientar), sólo podremos contar con el aumento que pueda experimentar el flujo creado por la bobina del primario; aumento que es prácticamente despreciable en comparación con el anterior.

En el gráfico que añadimos se indica, en términos generales, cómo varía el flujo en el núcleo de un transformador al variar el valor de la corriente en el primario. Se advierte con claridad cómo a partir de un cierto valor de la corriente, en que se alcanza la saturación del núcleo, el flujo aumenta muy poco por mucho que aumente la corriente. El aumento del flujo será, sólo, el debido a la bobina.





Mientras la corriente no alcanza cierto valor la ordenación de los imanes no es total y el flujo aumenta proporcionalmente con la corriente. Una vez alcanzada la saturación el flujo apenas varía aunque se produzca una gran variación de la corriente.

Pues bien; el fenómeno de la saturación puede producir distorsión de amplitud en los transformadores.

¿Adivina por qué...?

Medite usted un poco:

Si la señal aplicada al primario tiene un valor capaz de producir la saturación del núcleo, resulta que en los instantes en que dicha señal alcance o sobrepase el valor de saturación el flujo del núcleo permanece estable. Y, puesto que el valor y forma de la corriente inducida en el secundario depende de las variaciones del flujo, es evidente que al no variar éste proporcionalmente con la señal del primario, tampoco la corriente del secundario varía con la misma proporcionalidad.

Comprenda que durante el tiempo en que el flujo permanece invariable la corriente inducida en el secundario es nula.

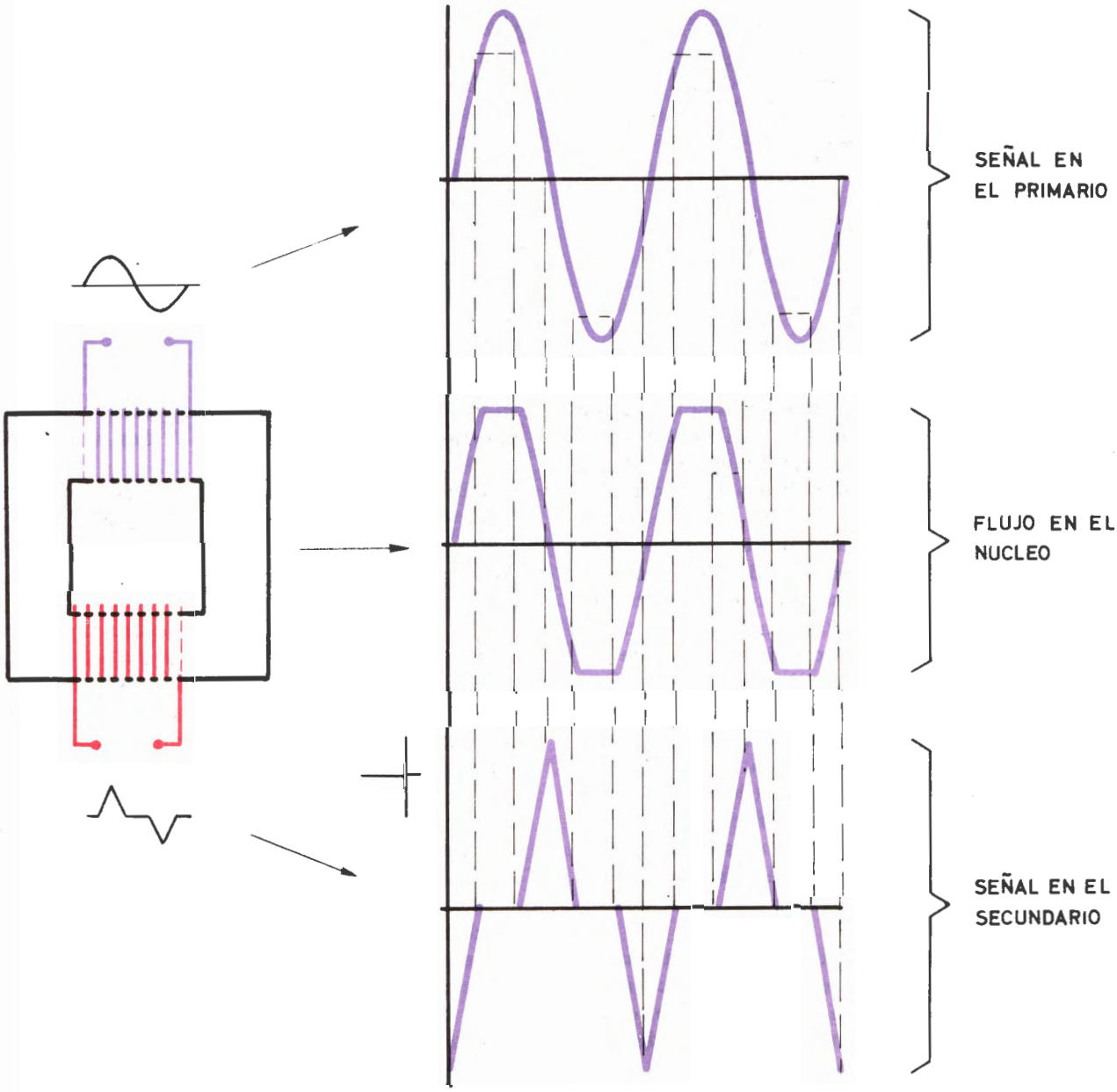


Gráfico donde se ilustra el funcionamiento de un transformador cuando la señal aplicada al primario sobrepasa el valor de saturación. La distorsión en el secundario es evidente.

Y puesto que esta distorsión se debe a la amplitud de las señales a la entrada del transformador, es, sin duda, una distorsión de amplitud.

Puede observar que el exceso de señal en el primario conduce a una señal, en el secundario, de picos muy agudos.

Debe tenerse en cuenta que en los transformadores de salida no sólo encontramos la componente alterna, sino que, en el primario, aparece también la componente continua de la corriente de placa.

Es decir: el núcleo del transformador de salida, puesto que por su primario circula la componente continua de la corriente de placa, está permanentemente magnetizado aun cuando no se aplique ninguna señal a la rejilla. Por esta razón, cuando se le añade la componente alterna (cuando llega una señal a la rejilla) es mucho más fácil que se alcance la saturación del núcleo, aun con señales cuya amplitud no sería suficiente para ello, sin la existencia de la magnetización previa producida por la componente continua.

En consecuencia: un núcleo pequeño no es recomendable en un transformador de salida por la sencilla razón de que se satura con facilidad y puede producirse distorsión de amplitud.

Para evitarlo deben utilizarse transformadores de salida con núcleos grandes. Se comprende, ahora, que los amplificadores de calidad lleven transformadores de salida voluminosos; sólo así pueden admitir señales fuertes sin que su núcleo alcance la saturación.

Sin embargo, razones de índole económica aconsejan la adopción de transformadores de salida pequeños cuando se trata de amplificadores de potencia reducida.

LOS TRANSFORMADORES Y LA DISTORSION DE FRECUENCIA

Lo que antecede hace referencia a la distorsión de amplitud. La verdad es que seríamos muy felices si fuese éste el único problema derivado de la forma de actuar oculta (valga la expresión) de un transformador.

Ocurre que los transformadores también pueden dar lugar a una distorsión de frecuencia.

Sabemos muy bien que un transformador es inoperante para una corriente continua. Un transformador actúa única y exclusivamente ante corrientes alternas. Pero sucede que el funcionamiento del transformador aumenta en corrección a medida que aumenta la frecuencia de las señales aplicadas al primario..., pero con reservas.

Para frecuencias muy bajas (de 10'2 c/s por ejemplo) puede decirse que, prácticamente, no apreciaremos ninguna señal en el secundario. El funcionamiento va mejorando para frecuencias superiores a este límite de ineficacia representado por los 10'2 c/s.

En realidad, es difícil lograr que un transformador funcione correctamente en las frecuencias del extremo inferior de la gama de audio, o sea 20 c/s. Aún más: en los transformadores de altavoz que ordinariamente se encuentran en el comercio, no puede garantizarse su buen funcionamiento ante frecuencias que estén por debajo de 50 a 60 c/s.

El transformador funciona con mayor corrección a medida que aumenta la frecuencia; pero ante frecuencias muy elevadas esta corrección desaparece también. ¿Razones...? *Las capacidades parásitas*, entre otras.

Cada espira de las bobinas forma con la contigua y el medio aislante que las separa eléctricamente (el mismo esmalte del hilo de cobre) a modo de un rudimentario condensador, al que llamamos capacidad parásita.

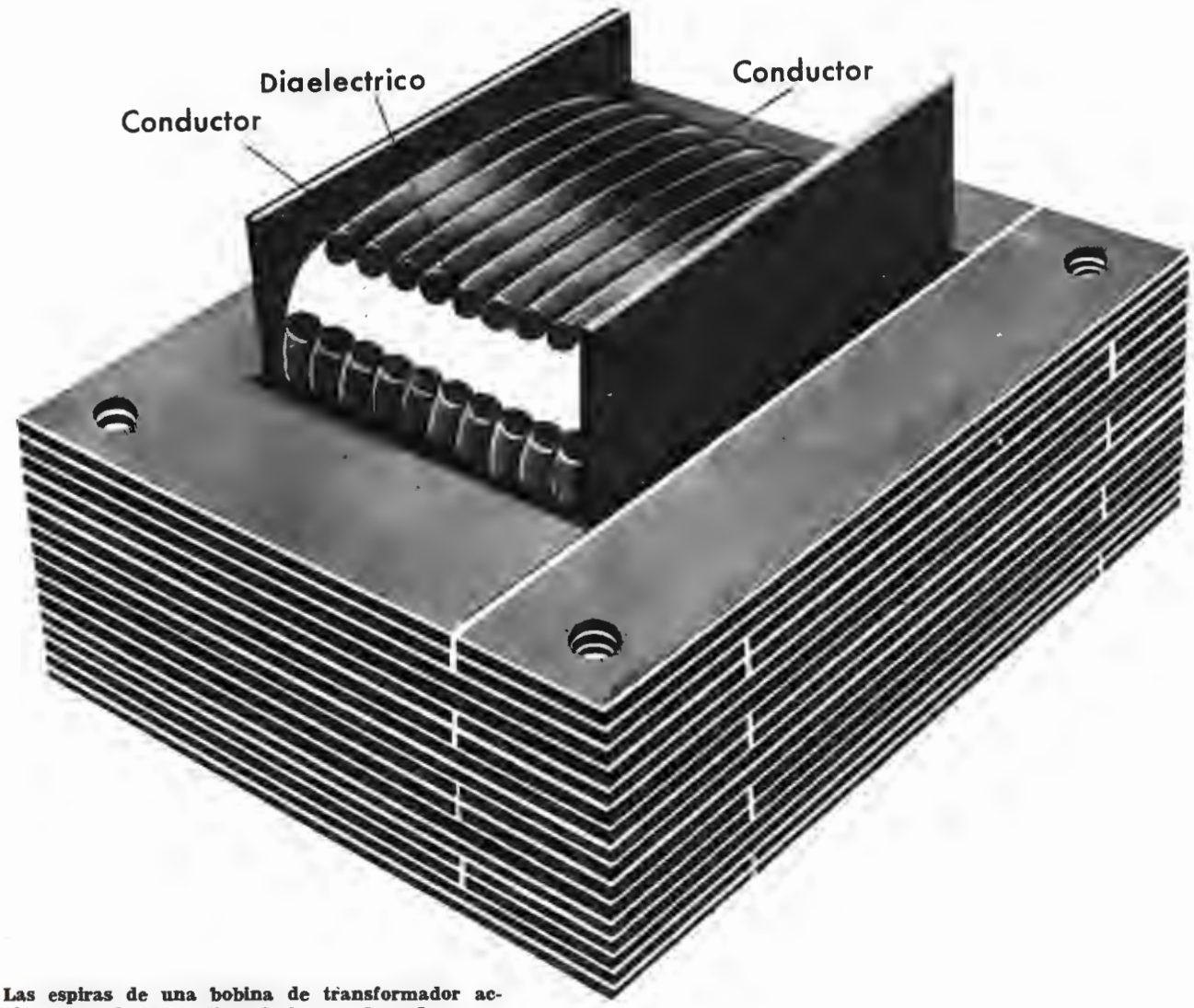
Las corrientes de frecuencia elevada pueden encontrar un paso más cómodo a través de estas capacidades que por el devanado del primario; y si la frecuencia es muy grande las capacidades parásitas terminan por representar un verdadero cortocircuito.

Por esta razón resulta difícil conseguir que un transformador funcione correctamente con frecuencias del extremo superior de la gama de audio: 16.000 c/s.

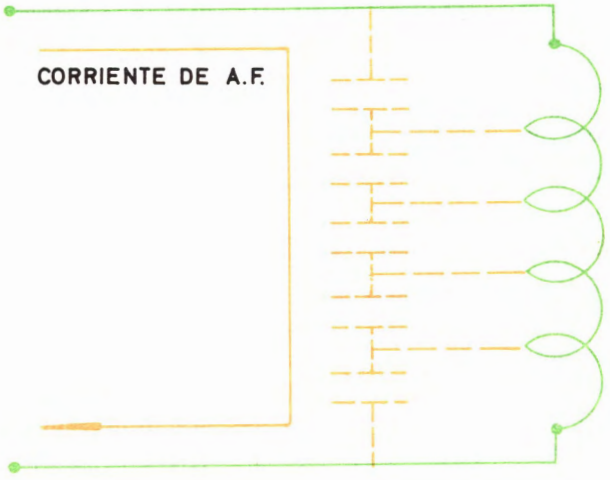
Resumiendo: los transformadores de altavoz pierden eficacia para las frecuencias más bajas y más altas de la gama de audio.

Estos efectos nocivos también pueden elimi narse, en parte, utilizando núcleos grandes. Insistimos otra vez en que un transformador de salida de calidad acostumbra tener un tamaño que puede calificarse de generoso.

En los receptores de radio de tamaño pequeño o mediano es muy frecuente encontrar transformadores de salida de pequeño tamaño, aunque no por ello debemos pensar en un fallo técnico. No

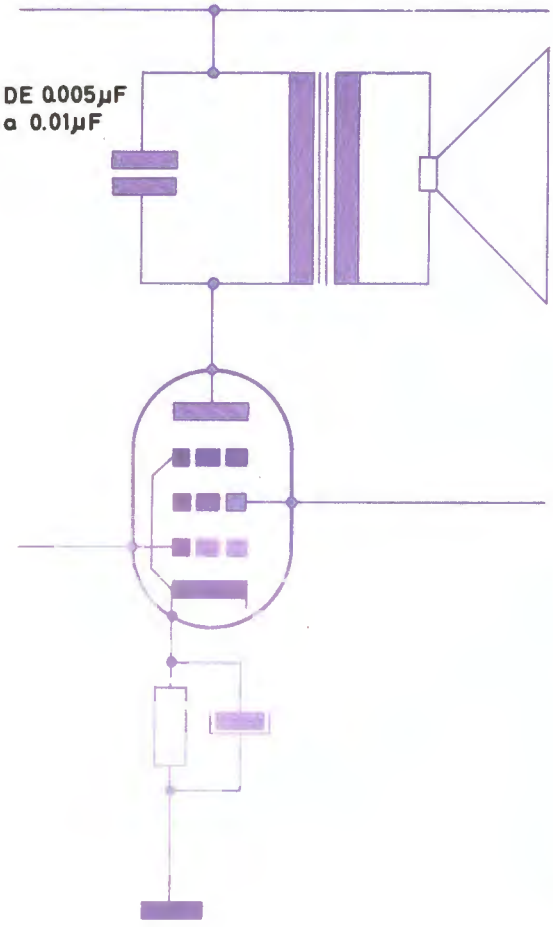


Las espiras de una bobina de transformador actúan a modo de rudimentarios condensadores.

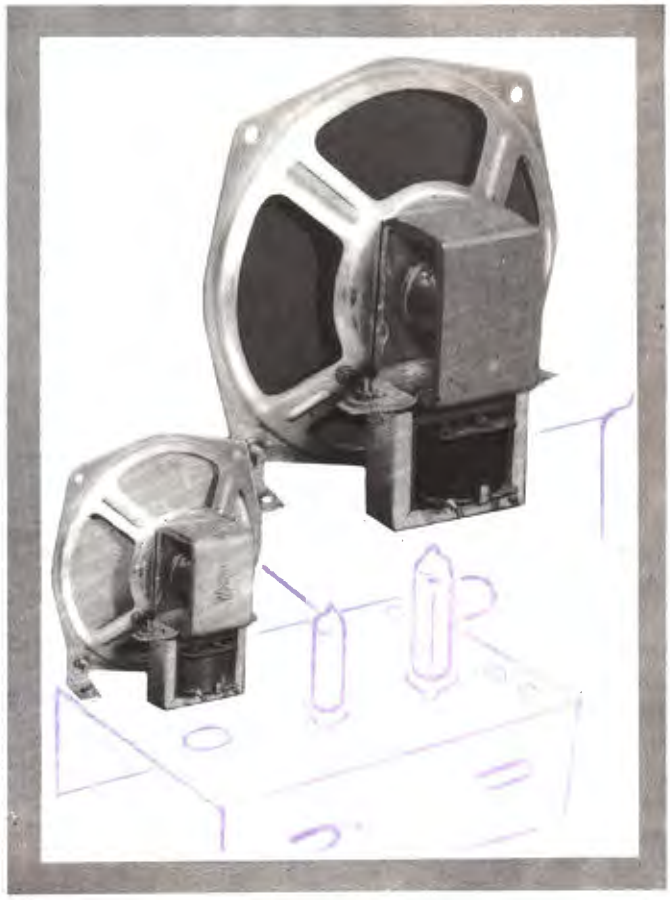


Las corrientes de alta frecuencia pasan primero a través de las capacidades parásitas que a través del hilo de la bobina.

se trata de un fallo técnico porque, por una parte, tampoco el altavoz, por su reducido tamaño, aprovecharía todas las cualidades de un buen transformador; y por otra parte, porque en las emisoras que transmiten en A-M (modulación en amplitud) las señales de B.F. no rebasan nunca 4.500 c/s. Incluso es frecuente colocar un condensador en paralelo con el primario a fin de eliminar los ruidos parásitos que molestan la recepción, y cuya frecuencia es siempre bastante elevada.



El valor del condensador en paralelo con el primario suele estar comprendido entre 5000 pF y 1000 pF.



En este gráfico puede compararse el tamaño de los transformadores de salida acoplados al altavoz de un receptor de gran tamaño y al del altavoz de un receptor pequeño.

DISTORSION DE FRECUENCIA ORIGINADA POR LA CAPACIDAD DE ACOPLAMIENTO

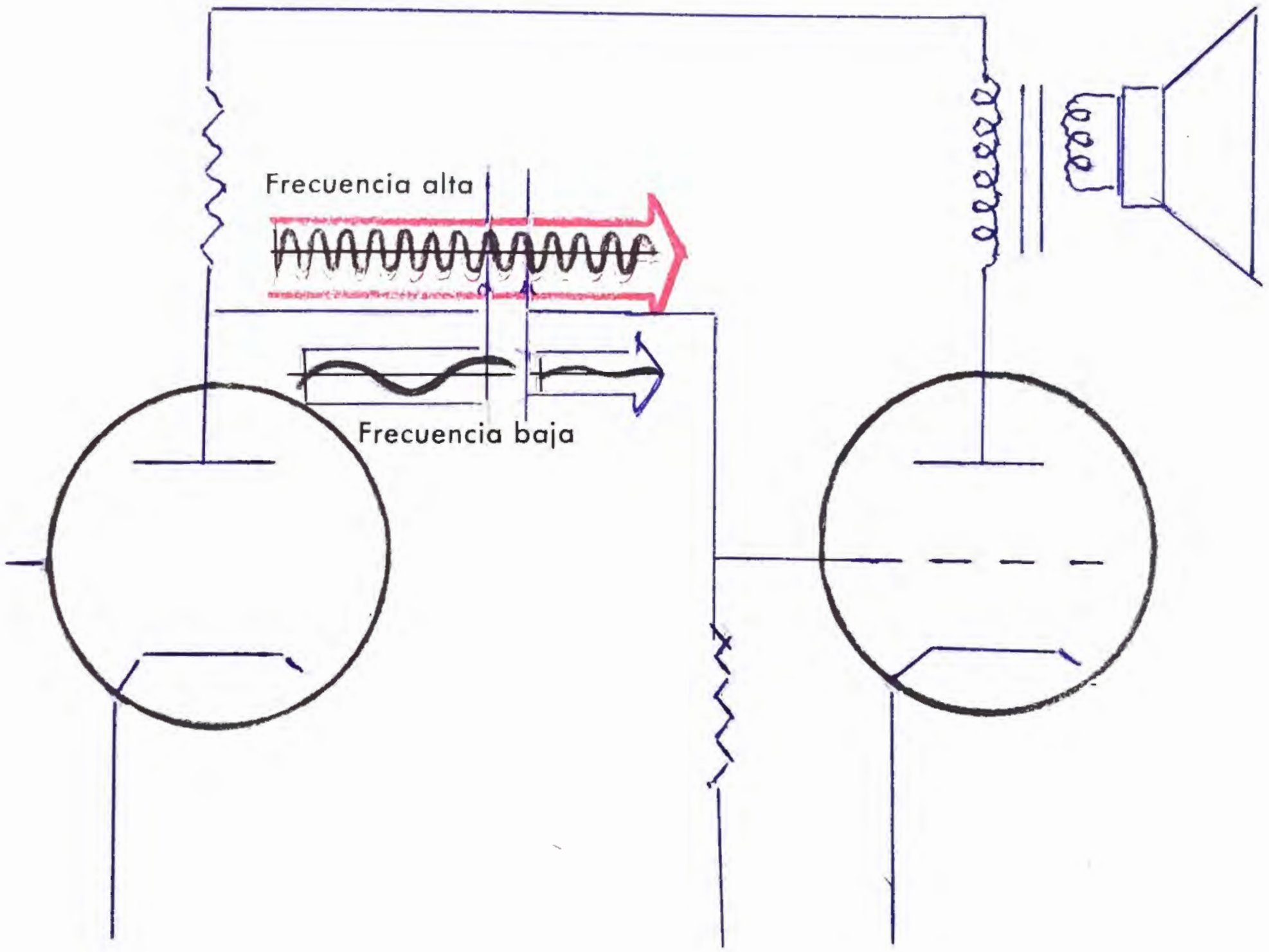
Cuando hablamos de la eliminación de la componente continua de la corriente de placa por medio de un grupo RC, dijimos que era imprescindible elegir el condensador de forma que su reactancia para la corriente que se pretende amplificar fuese despreciable en comparación con el valor de la resistencia R. Sólo así la componente alterna encontraba vía libre, si aceptamos la expresión.

Ahora bien; un amplificador de sonido debiera tener la misma ganancia para señales de 20 c/s que para señales de 16.000 c/s. Es decir: el amplificador debiera *responder* exactamente igual para

todas las señales cuya frecuencia está comprendida dentro de la gama de audio.

Pero eso no pasa de ser una utopía; algo que quisiéramos que fuese así, pero que es imposible conseguir. Tal imposibilidad proviene del hecho de que la reactancia del condensador es mayor para las frecuencias bajas que para las altas. Por tanto, la amplificación es menor cuando la señal tiene una frecuencia muy baja, debido a que parte de esta señal se pierde en el condensador de acoplamiento.

El remedio del mal — lo hemos dicho en la lección anterior — está en utilizar condensadores de acoplamiento de gran capacidad. Claro que tal remedio tiene el inconveniente del elevado precio de un condensador de gran capacidad.



Este gráfico carece de rigor científico. Sólo pretende ser una forma sensible de recordar que las corrientes de frecuencia muy baja quedan atenuadas por la reactancia del condensador, y que debido a ello su amplificación es menor. Los sonidos emitidos por el altavoz, correspondientes a estas señales próximas al límite inferior de la gama de audio, resultan más débiles.

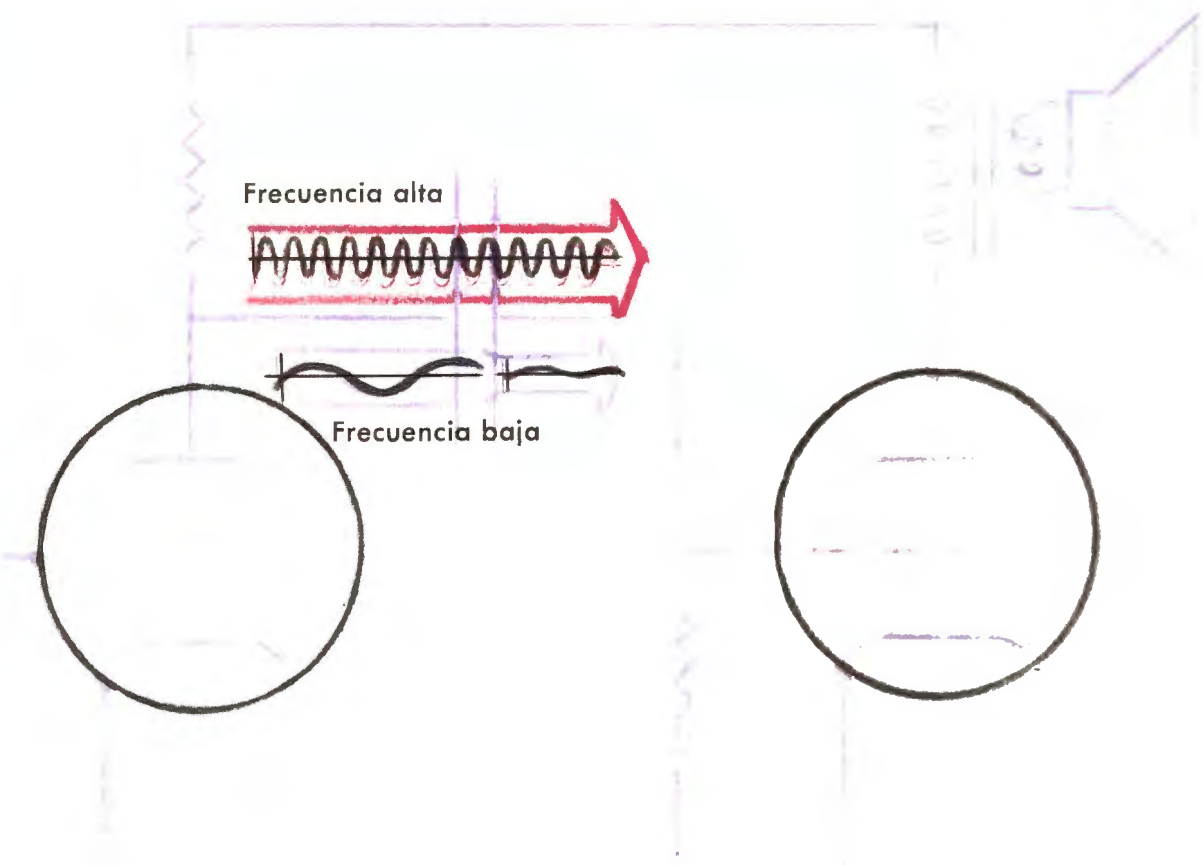
DISTORSION PRODUCIDA POR LOS CONDENSADORES DE DESACOPLO

El condensador de cátodo y el condensador de rejilla pantalla suelen denominarse, también, CONDENSADORES DE DESACOPLO. Su capacidad, vamos a decirlo una vez más, debe ser tal que su reactancia (oposición al paso de la corriente alterna) a cualquier frecuencia sea mucho más pequeña que

todas las señales cuya frecuencia está comprendida dentro de la gama de audio.

Pero eso no pasa de ser una utopía; algo que quisiéramos que fuese así, pero que es imposible conseguir. Tal imposibilidad proviene del hecho de que la reactancia del condensador es mayor para las frecuencias bajas que para las altas. Por tanto, la amplificación es menor cuando la señal tiene una frecuencia muy baja, debido a que parte de esta señal se pierde en el condensador de acoplamiento.

El remedio del mal — lo hemos dicho en la lección anterior — está en utilizar condensadores de acoplamiento de gran capacidad. Claro que tal remedio tiene el inconveniente del elevado precio de un condensador de gran capacidad.



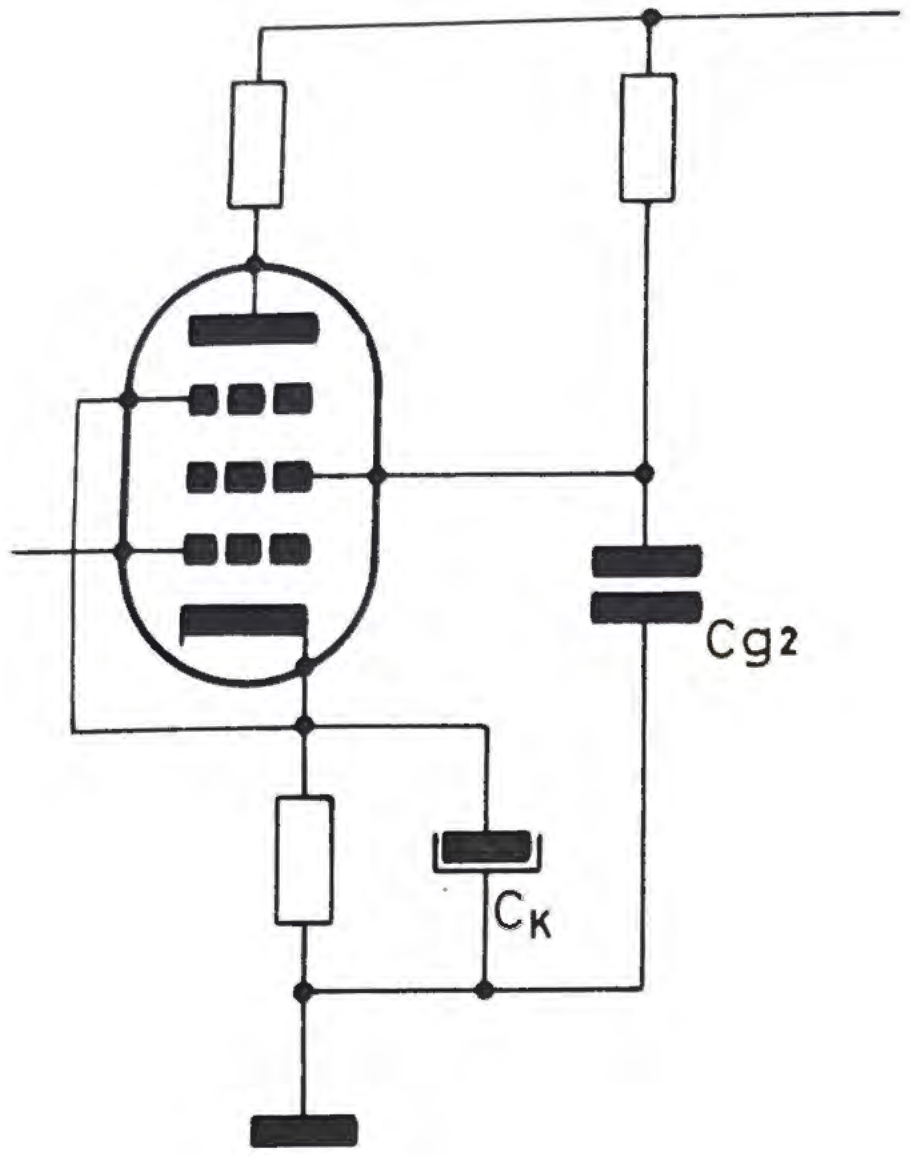
Este gráfico carece de rigor científico. Sólo pretende ser una forma sensible de recordar que las corrientes de frecuencia muy baja quedan atenuadas por la reactancia del condensador, y que debido a ello su amplificación es menor. Los sonidos emitidos por el altavoz, correspondientes a estas señales próximas al límite inferior de la gama de audio, resultan más débiles.

DISTORSION PRODUCIDA POR LOS CONDENSADORES DE DESACOPLO

El condensador de cátodo y el condensador de rejilla pantalla suelen denominarse, también, CONDENSADORES DE DESACOPLO. Su capacidad, vamos a decirlo una vez más, debe ser tal que su reactancia (oposición al paso de la corriente alterna) a cualquier frecuencia sea mucho más pequeña que

el valor óhmico de las resistencias de cátodo y de pantalla respectivamente.

Esta condición se cumple muy difícilmente para las frecuencias más bajas de la gama de audio, a menos que se utilicen condensadores de gran capacidad. Estos elementos, pues, también contribuyen a que la ganancia de los amplificadores disminuya para las señales de frecuencia próxima al extremo inferior de la gama de audio.



Los condensadores C_K y C_{g2} dan lugar a distorsión de frecuencia para las señales con frecuencias correspondientes al extremo inferior de la gama de audio.

DISTORSION DE FRECUENCIA ORIGINADA POR LAS CAPACIDADES PARASITAS DE LAS VALVULAS

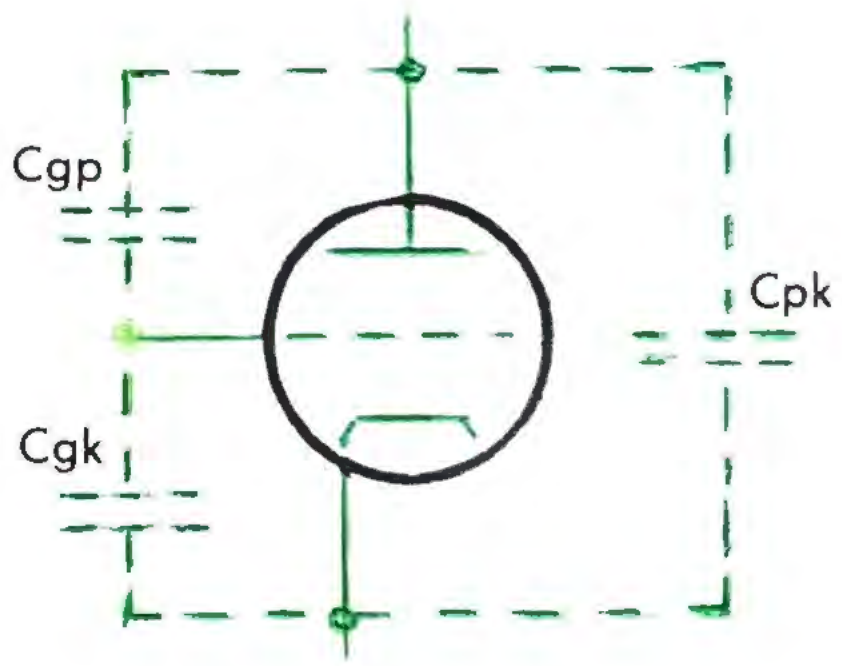
También las válvulas presentan capacidades parásitas. He ahí otra circunstancia a prever cuando se trata de estudiar las causas que provocan distorsiones en los amplificadores de sonido.

Hace muy poco ha leído sobre las causas y efectos de las capacidades parásitas en los transformadores, motivo de la incorrecta amplificación de señales de frecuencia alta dentro de los límites señalados por la gama de audio. En un transformador cada dos espiras separadas por su propio aislante deben considerarse como un rudimentario condensador.

Pues bien; por un razonamiento similar podemos afirmar que en un triodo, por ejemplo, el cátodo y la rejilla, que son dos elementos metálicos separados por un aislante (vacío), constituyen las armaduras y el dieléctrico de un rudimentario condensador, cuya capacidad — parásita, por no convenir a la naturaleza propia de la válvula — recibe el nombre de CAPACIDAD REJILLA-CÁTODO, C_{gk}.

Lo mismo puede decirse de la placa y cátodo, entre los que existe una CAPACIDAD PLACA-CÁTODO C_{pk}; o de la rejilla y la placa, electrodos entre los que existe una CAPACIDAD REJILLA-PLACA C_{gp}.

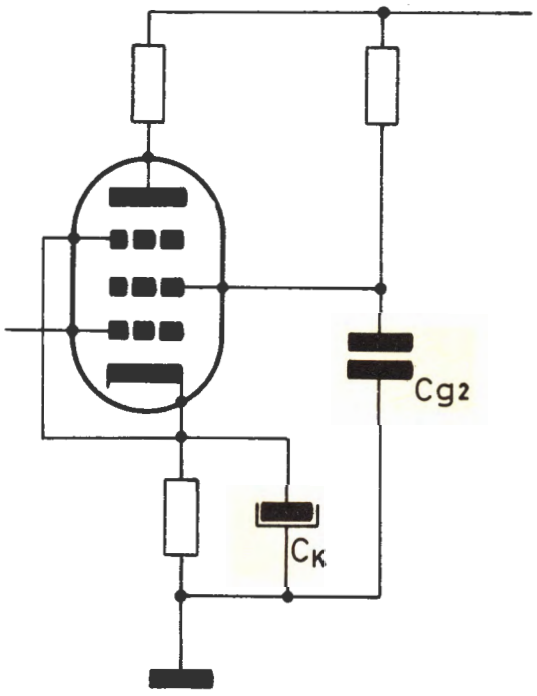
Estas capacidades, como en seguida veremos, tienen una notable influencia en el funcionamiento del triodo. Puestos en la necesidad de representarlas gráficamente, lo haremos con el símbolo normal de condensador, pero mediante líneas de trazo, ya que en el sentido formal de la palabra tales condensadores no existen; existen efectos de capacidad.



Símbolo de un triodo en el que se ilustran sus capacidades parásitas.

el valor óhmico de las resistencias de cátodo y de pantalla respectivamente.

Esta condición se cumple muy difícilmente para las frecuencias más bajas de la gama de audio, a menos que se utilicen condensadores de gran capacidad. Estos elementos, pues, también contribuyen a que la ganancia de los amplificadores disminuya para las señales de frecuencia próxima al extremo inferior de la gama de audio.



Los condensadores C_K y C_{g_2} dan lugar a distorsión de frecuencia para las señales con frecuencias correspondientes al extremo inferior de la gama de audio.

DISTORSION DE FRECUENCIA ORIGINADA POR LAS CAPACIDADES PARASITAS DE LAS VALVULAS

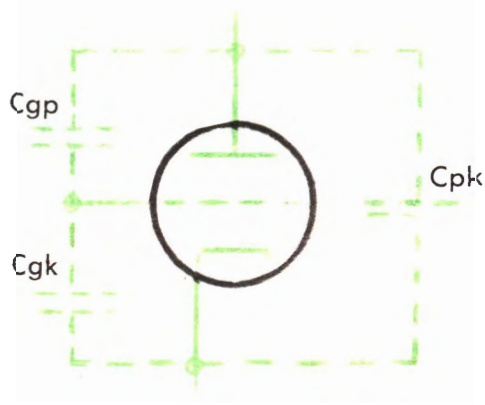
También las válvulas presentan capacidades parásitas. He ahí otra circunstancia a prever cuando se trata de estudiar las causas que provocan distorsiones en los amplificadores de sonido.

Hace muy poco ha leído sobre las causas y efectos de las capacidades parásitas en los transformadores, motivo de la incorrecta amplificación de señales de frecuencia alta dentro de los límites señalados por la gama de audio. En un transformador cada dos espiras separadas por su propio aislante deben considerarse como un rudimentario condensador.

Pues bien; por un razonamiento similar podemos afirmar que en un triodo, por ejemplo, el cátodo y la rejilla, que son dos elementos metálicos separados por un aislante (vacío), constituyen las armaduras y el dieléctrico de un rudimentario condensador, cuya capacidad — parásita, por no convenir a la naturaleza propia de la válvula — recibe el nombre de CAPACIDAD REJILLA-CÁTODO, C_{gk}.

Lo mismo puede decirse de la placa y cátodo, entre los que existe una CAPACIDAD PLACA-CÁTODO C_{pk}; o de la rejilla y la placa, electrodos entre los que existe una CAPACIDAD REJILLA-PLACA C_{gp}.

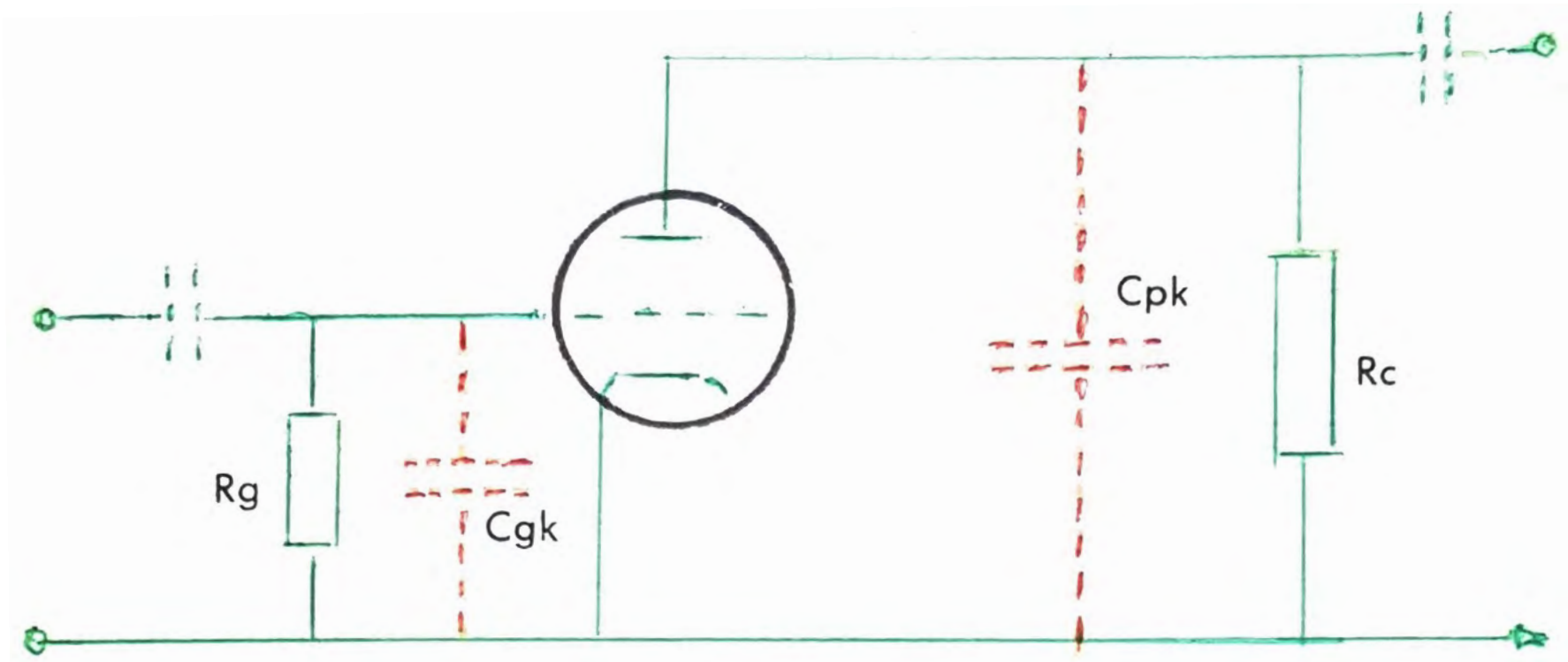
Estas capacidades, como en seguida veremos, tienen una notable influencia en el funcionamiento del triodo. Puestos en la necesidad de representarlas gráficamente, lo haremos con el símbolo normal de condensador, pero mediante líneas de trazo, ya que en el sentido formal de la palabra tales condensadores no existen; existen efectos de capacidad.



Símbolo de un triodo en el que se ilustran sus capacidades parásitas.

En otro lugar estudiaremos la influencia que la capacidad C_{gp} tiene sobre el funcionamiento del triodo. Por el momento nos limitaremos a poner de manifiesto el efecto de las capacidades parásitas C_{gK} y C_{pK} en un amplificador de tensión. Para ello empezaremos por dibujar el esquema del amplificador incluyendo estas capacidades.

En el esquema hemos prescindido de las baterías dejando únicamente los elementos fundamentales del montaje.



Esquema de un amplificador de tensión con la indicación de sus capacidades parásitas.

El esquema es suficientemente explícito para darse cuenta de que, por estar en paralelo la resistencia de carga R_c y la capacidad parásita C_{pK}, la componente alterna no se encuentra sólo con una resistencia de valor R_c, sino que, en realidad, el valor de la resistencia de carga es el del sistema en paralelo formado por la resistencia y la reactancia de C_{gK}, valor que en conjunto siempre será menor que R_c.

El resultado es que para las frecuencias bajas, y dado que la reactancia de C_{pK} es muy grande, no influye prácticamente en el funcionamiento: podemos suponer que la resistencia de carga es sólo R_c.

A medida que consideremos frecuencias más elevadas, menor será el valor de la reactancia de C_{pK}; y por tanto menor también el valor óhmico del sistema paralelo formado por R_c y la reactancia de C_{pK}.

Para frecuencias altas, el valor de la resistencia de carga *real* del triodo será mucho menor que R_c, lo que hace disminuir la ganancia.

Algo parecido podemos decir con respecto a la capacidad parásita C_{gK}. Esta capacidad queda en paralelo con R_g; el resultado de esta asociación es una aparente disminución del valor de dicha resistencia a medida que aumenta la frecuencia. Se trata de un resultado nada conveniente, por cuanto sabemos que el valor de esta resistencia debe ser elevado.

Advierta que, cuando es muy elevada la frecuencia de las señales que pretendemos amplificar, estas capacidades se convierten en verdaderos cortocircuitos que impiden el funcionamiento del triodo.

Uno se pregunta si la cosa acaba aquí, porque parece que los inconvenientes que se oponen a una perfecta amplificación de los sonidos no acaban nunca; salen capacidades parásitas de todos los *rincones*.

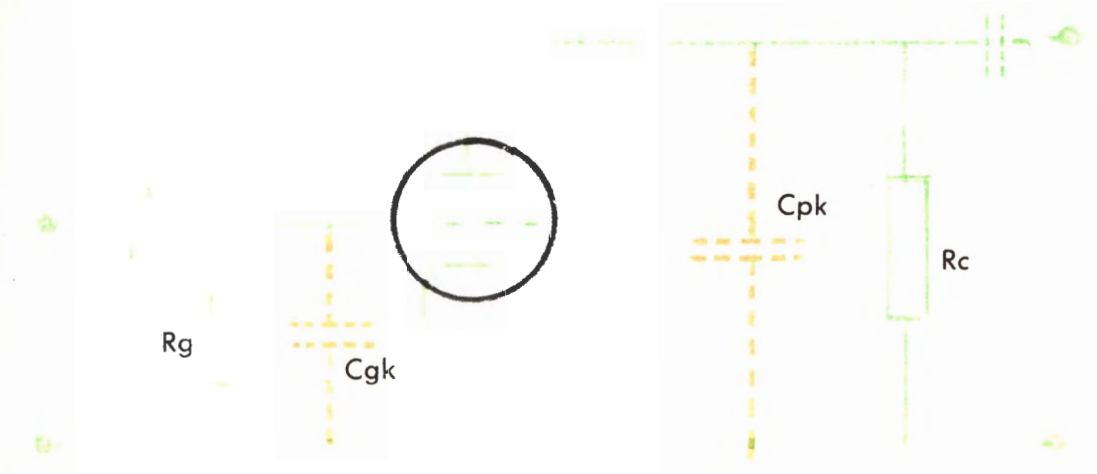
Pues sí; aún hay más...; porque el cátodo suele estar conectado al chasis aunque sea a través de un grupo de polarización; porque tanto a la rejilla como a la placa van soldados conductores (terminales de resistencias y condensadores, por ejemplo); y, en definitiva, porque entre estos conductores y el chasis se forma cierta capacidad, que recibe el nombre de CAPACIDAD PARÁSITA DEL CABLEADO, cuyo efecto se suma al de las anteriores.

EL EFECTO GENERAL PROVOCADO POR LAS CAPACIDADES PARÁSITAS EN UN AMPLIFICADOR ES LA REDUCCIÓN DE LA GANANCIA PARA LAS FRECUENCIAS MÁS ELEVADAS.

Habrá advertido que el nombre de capacidades parásitas corresponde a los efectos de capacidad que aparecen inevitablemente como *subproducto* de la construcción de un dispositivo determinado. También habrá advertido que resulta de todo punto imposible eliminar tal dificultad. Siempre, por su propia naturaleza eléctrica, una válvula, un transformador o un simple alambrado proporcionan capacidades parásitas, que en ciertas condiciones modifican su función.

En otro lugar estudiaremos la influencia que la capacidad C_{gp} tiene sobre el funcionamiento del triodo. Por el momento nos limitaremos a poner de manifiesto el efecto de las capacidades parásitas C_{gK} y C_{pK} en un amplificador de tensión. Para ello empezaremos por dibujar el esquema del amplificador incluyendo estas capacidades.

En el esquema hemos prescindido de las baterías dejando únicamente los elementos fundamentales del montaje.



Esquema de un amplificador de tensión con la indicación de sus capacidades parásitas.

El esquema es suficientemente explícito para darse cuenta de que, por estar en paralelo la resistencia de carga R_c y la capacidad parásita C_{pK}, la componente alterna no se encuentra sólo con una resistencia de valor R_c, sino que, en realidad, el valor de la resistencia de carga es el del sistema en paralelo formado por la resistencia y la reactancia de C_{gK}, valor que en conjunto siempre será menor que R_c.

El resultado es que para las frecuencias bajas, y dado que la reactancia de C_{pK} es muy grande, no influye prácticamente en el funcionamiento: podemos suponer que la resistencia de carga es sólo R_c.

A medida que consideremos frecuencias más elevadas, menor será el valor de la reactancia de C_{pK}; y por tanto menor también el valor óhmico del sistema paralelo formado por R_c y la reactancia de C_{pK}.

Para frecuencias altas, el valor de la resistencia de carga *real* del triodo será mucho menor que R_c, lo que hace disminuir la ganancia.

Algo parecido podemos decir con respecto a la capacidad parásita C_{gK}. Esta capacidad queda en paralelo con R_g; el resultado de esta asociación es una aparente disminución del valor de dicha resistencia a medida que aumenta la frecuencia. Se trata de un resultado nada conveniente, por cuanto sabemos que el valor de esta resistencia debe ser elevado.

Advierta que, cuando es muy elevada la frecuencia de las señales que pretendemos amplificar, estas capacidades se convierten en verdaderos cortocircuitos que impiden el funcionamiento del triodo.

Uno se pregunta si la cosa acaba aquí, porque parece que los inconvenientes que se oponen a una perfecta amplificación de los sonidos no acaban nunca; salen capacidades parásitas de todos los *rincones*.

Pues sí; aún hay más...; porque el cátodo suele estar conectado al chasis aunque sea a través de un grupo de polarización; porque tanto a la rejilla como a la placa van soldados conductores (terminales de resistencias y condensadores, por ejemplo); y, en definitiva, porque entre estos conductores y el chasis se forma cierta capacidad, que recibe el nombre de CAPACIDAD PARÁSITA DEL CABLEADO, cuyo efecto se suma al de las anteriores.

EL EFECTO GENERAL PROVOCADO POR LAS CAPACIDADES PARÁSITAS EN UN AMPLIFICADOR ES LA REDUCCIÓN DE LA GANANCIA PARA LAS FRECUENCIAS MÁS ELEVADAS.

Habrá advertido que el nombre de capacidades parásitas corresponde a los efectos de capacidad que aparecen inevitablemente como *subproducto* de la construcción de un dispositivo determinado. También habrá advertido que resulta de todo punto imposible eliminar tal dificultad. Siempre, por su propia naturaleza eléctrica, una válvula, un transformador o un simple alambrado proporcionan capacidades parásitas, que en ciertas condiciones modifican su función.

CURVA DE RESPUESTA DE UN AMPLIFICADOR

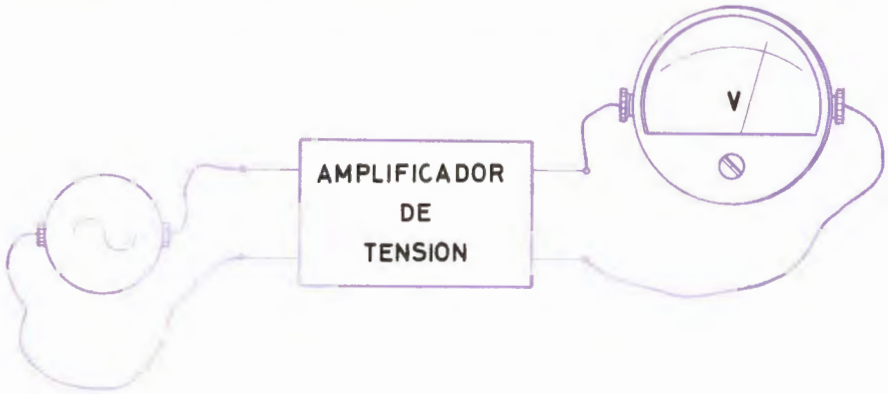
Todas y cada una de las causas estudiadas producen un efecto determinado que contribuye a que el amplificador funcione de una u otra manera. Resulta muy interesante tener una idea global del efecto total que la suma de causas produce en el funcionamiento del amplificador.

Para que esta idea, además, se resuma en una representación gráfica, procederemos al trazado de lo que se llama curva de respuesta de un amplificador.

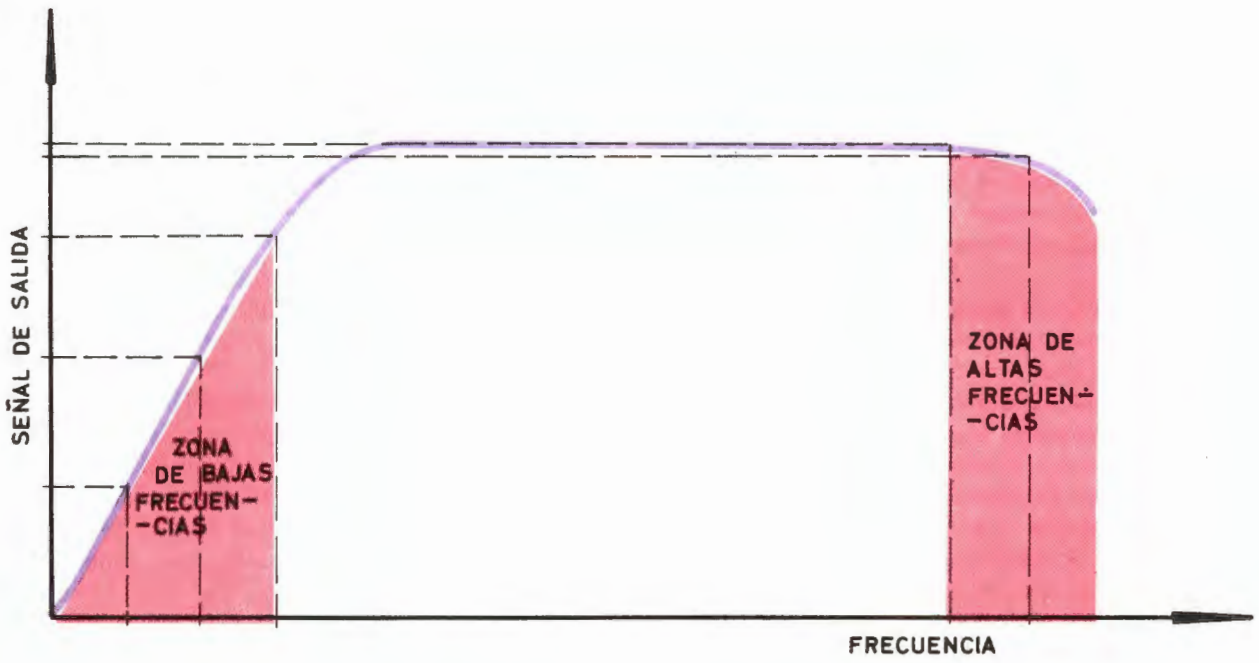
Dispondremos un generador de tensión alterna que permita variar la frecuencia dentro de los límites en que deba trabajar el amplificador. Entiéndase que la variación de la frecuecia debe producirse sin que varíe la tensión entre los bornes del generador. Es decir: tendremos una señal siempre de la misma amplitud, pero de frecuencia variable.

Conectaremos este generador a la entrada del amplificador. A la salida, claro, obtendremos una respuesta para cada frecuencia, respuesta que mediremos con el aparato que convenga al tipo de amplificador. Mediremos la potencia de salida si se trata de un amplificador de potencia, o la tensión si se trata de un amplificador de tensión.

Manteniendo constante el valor de la tensión que suministra el generador, se va variando la frecuencia, midiendo el valor de la señal de salida para cada nuevo valor de la frecuencia. Obtenemos un par de valores frecuencia-valor de la señal de salida en cada medición. Con estos valores trazamos la curva de respuesta del amplificador.



Con el dispositivo que esquematizamos leeremos la tensión de salida para cada frecuencia considerada. Relacionando ambos valores en dos ejes coordenados, obtendremos una curva similar a la que aquí dibujamos.



Si el amplificador a verificar fuese un amplificador de sonido, es natural que el generador pueda variar la frecuencia entre 20 c/s y 16.000 c/s, que son los límites de la gama de audio. Para medir la potencia a la salida suele sustituirse el altavoz por una resistencia de valor igual a la impedancia de la bobina móvil.

Y puesto que la resistencia nos es conocida, bastará medir con un voltímetro la tensión que le suministra el amplificador para deducir la potencia aplicando la fórmula:

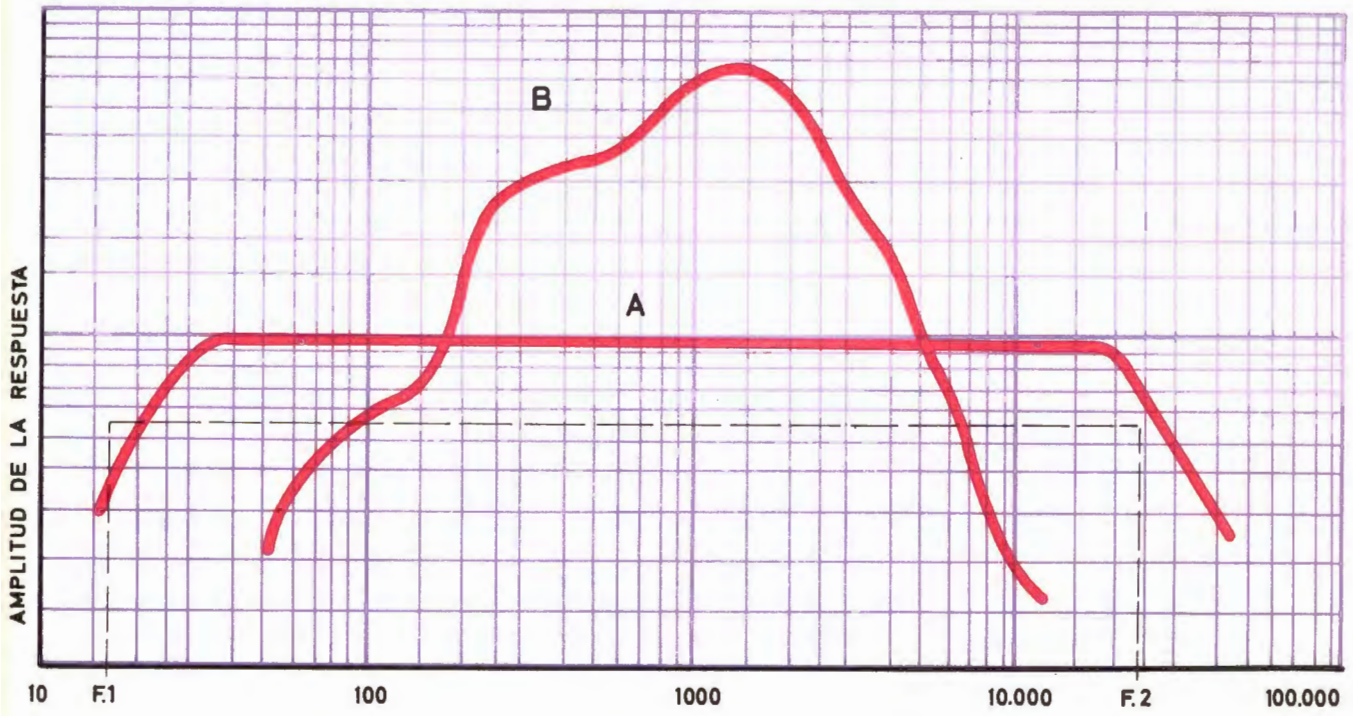
$$P = \frac{V^2}{R}$$

Aunque sea precipitar los conocimientos, es preciso advertir que para establecer los distintos valores de la frecuencia se utiliza la llamada *escala logarítmica* en la que están igualmente distanciados los valores 10, 100, 1000, 10000, etc., en vez de estarlo los valores 10, 20, 30, 40, etc., que es lo que ocurre normalmente.

En las lecciones dedicadas a la «alta fidelidad» tendrá la oportunidad de familiarizarse con esta escala logarítmica. Entonces comprenderá las razones de su adopción. No se preocupe si ahora no acaba de ver claro en esta cuestión.

En general, la curva de respuesta de los amplificadores presenta una zona prácticamente horizontal que los técnicos interpretan diciendo que en tal zona *la respuesta es plana*. La curva de respuesta cae en los extremos por las razones que hemos estudiado.

CUANTO MÁS AMPLIA ES LA ZONA DE RESPUESTA PLANA, MEJOR ES EL AMPLIFICADOR.



Vea las curvas de respuesta de un amplificador A cuyo funcionamiento es correcto y de un amplificador B de funcionamiento incorrecto. Las frecuencias se hacen coincidir sobre una escala logarítmica.

FRECUENCIA DE CORTE

Para tener, a priori, una idea de lo más o menos amplia que es la región plana de la curva de respuesta de un amplificador (sin necesidad de trazarla, claro) se recurre a lo que se llama FRECUENCIAS DE CORTE.

SE LLAMA FRECUENCIA DE CORTE INFERIOR (f_1) A LA FRECUENCIA MÁS BAJA PARA LA CUAL LA TENSIÓN DE SALIDA SE MANTIENE POR ENCIMA DEL 70'7 % DEL NIVEL ALCANZADO EN LA ZONA PLANA.

LA FRECUENCIA SUPERIOR DE CORTE (f_2) ES LA FRECUENCIA MÁS ALTA PARA LA CUAL LA TENSIÓN DE SALIDA SE MANTIENE POR ENCIMA DEL 70'7 % DEL NIVEL ALCANZADO EN LA ZONA PLANA.

Se comprende que cuanto mayor sea la separación entre ambas frecuencias de corte, mayor será la zona plana de la curva de respuesta. Interesa, pues, que la f_1 sea lo más baja posible y que f_2 sea lo más elevada posible.

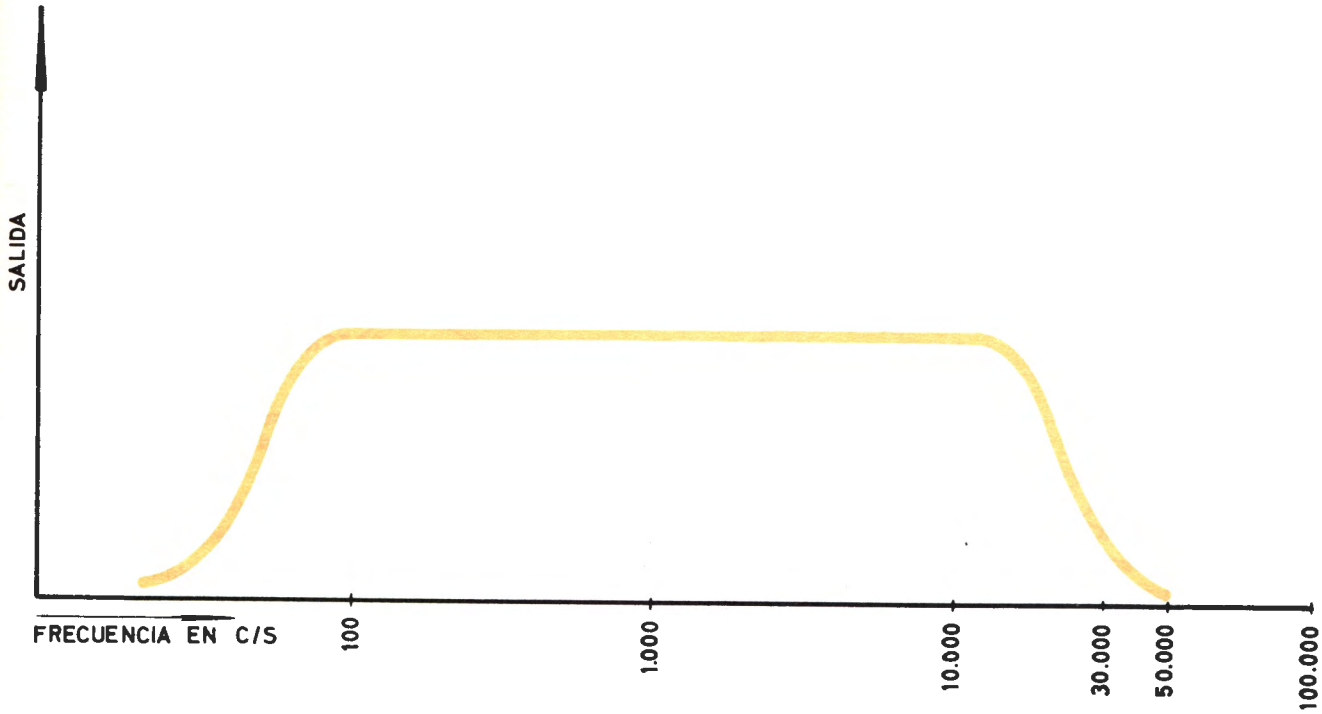
Situación de las frecuencias de corte en una curva de respuesta de un amplificador.

EL TEOREMA DE FOURIER

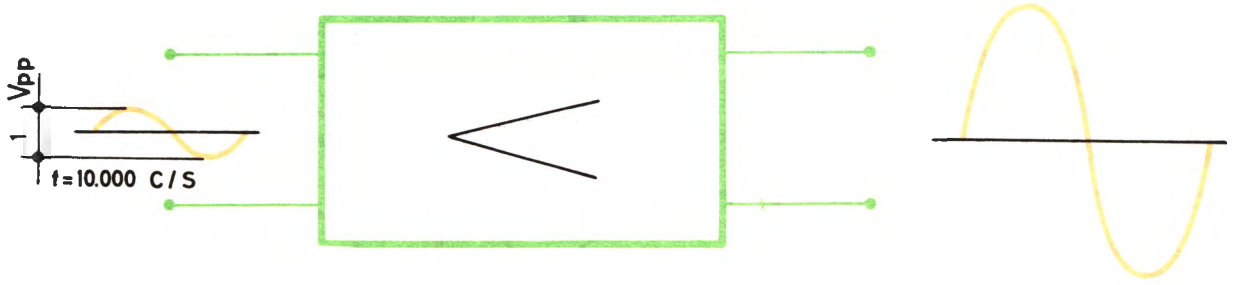
Una vez llegados a este punto tal vez le parezca que pocas cosas le quedan por saber sobre distorsión, esta especie de pesadilla que altera el correcto funcionamiento de un amplificador de sonido.

Es cierto que hemos avanzado mucho; pero aún le reservamos algunas sorpresas en esta misma lección, y algunas más que reservamos para más adelante, en las lecciones de «alta fidelidad».

Suponga lo siguiente: que estamos ensayando con un amplificador en el cual no se manifiesta distorsión de amplitud para las señales a la entrada que no sobrepasan la amplitud de 1 V de pico a pico. Es decir: para tensiones de 1 V_{pp} y más reducidas, no hay distorsión de amplitud. Vea la curva de respuesta de este amplificador.



Si a este amplificador le inyectamos una señal *senoidal* que no excede de 1 V_{pp} y cuya frecuencia quede comprendida entre 100 y 10000 c/s, obtendremos a la salida una señal de mayor amplitud, sin distorsión y con ganancia normal. Según la curva de respuesta estamos en plena zona plana.

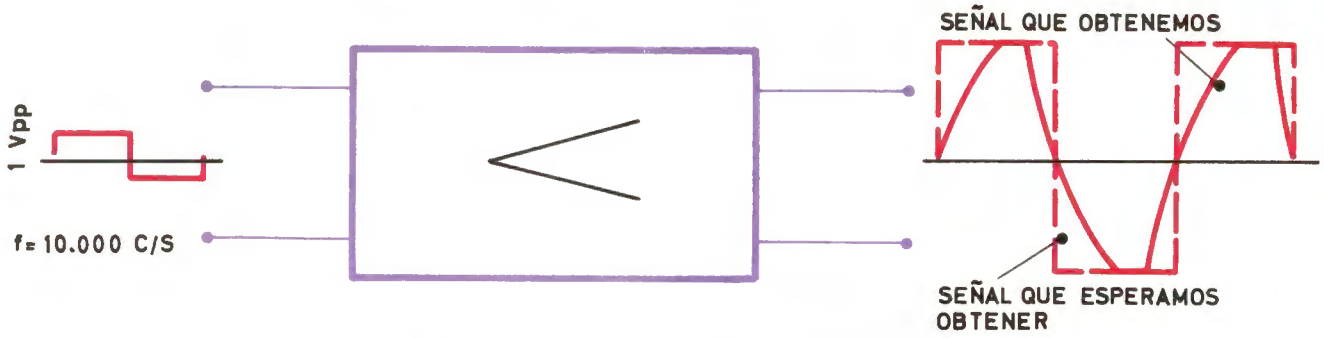


Cuando a la entrada del amplificador tenemos una señal senoidal de 1 V_{pp} y una frecuencia de 10000 c/s, la respuesta es otra señal senoidal que no presenta distorsión aparente.

Hagamos otra experiencia: inyectemos al mismo amplificador una señal de igual amplitud y frecuencia, pero de forma no senoidal, sino rectangular. Conviene probar con ondas de forma distinta, porque, de acuerdo con la definición de distorsión, no basta con ver que no hay distorsión para una señal senoidal, sino que esto mismo debe ocurrir para cualquier tipo de onda. Recuerde que las ondas sonoras no son, en general, senoidales, como tiene ocasión de comprobar en las fotografías de la pantalla de un osciloscopio tomadas con ocasión del estudio de las cualidades del sonido. Así,

en el caso que vamos a ensayar, la onda rectangular de la señal de entrada deberá convertirse a la salida en una señal de la misma forma, pero de mayor amplitud. ¿Ocurrirá así?

Tendremos una decepción: la señal a la salida tendrá una forma muy distinta que apenas se parecerá a la forma rectangular inicial; la distorsión, pues, es patente.

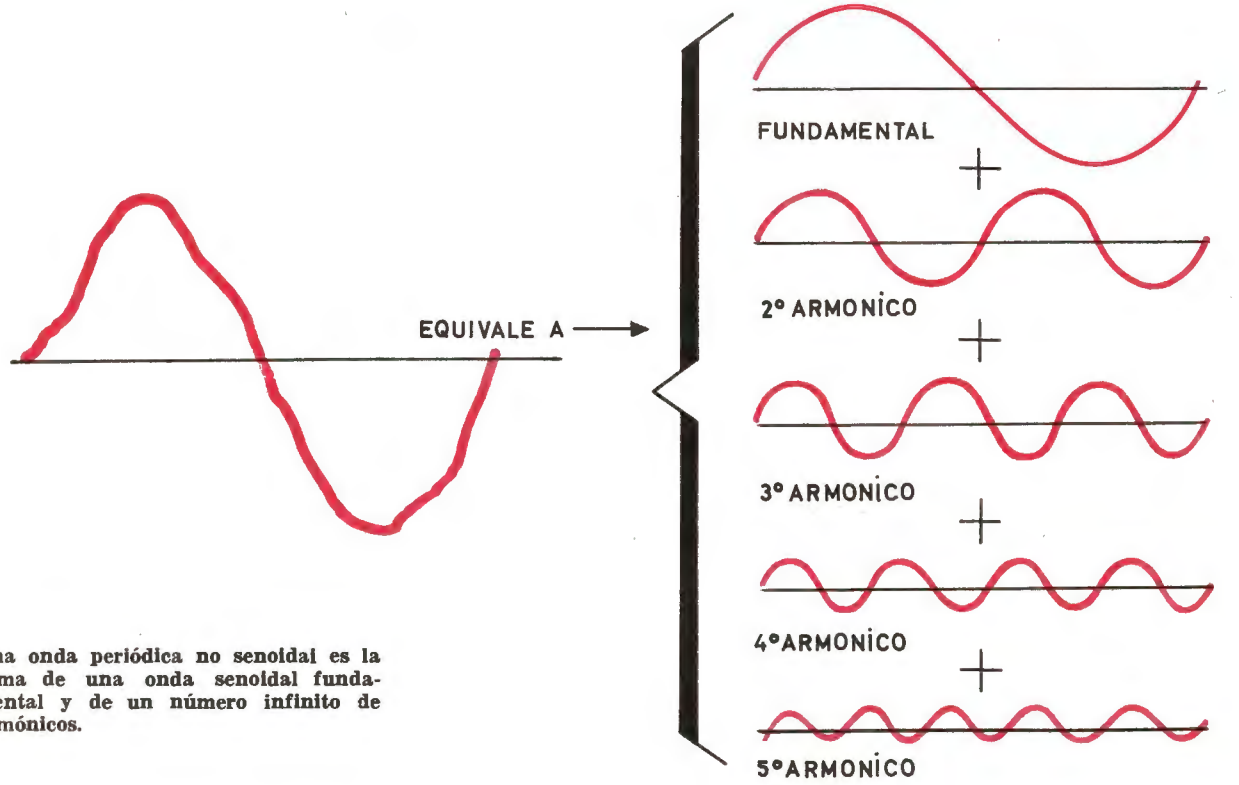


Cuando a la entrada del amplificador aplicamos una señal rectangular de 1 V_{pp} y f = 10000 c/s, la señal a la salida puede estar muy distorsionada.

Sin embargo, no se trata de una distorsión de amplitud; se trata, aunque parezca raro, de una distorsión de frecuencia. La amplitud de la señal a la salida varía proporcionalmente a la amplitud de la señal de entrada; la ganancia es constante, así como el grado de deformación.

Estamos, en efecto, ante una variante de la distorsión de frecuencia, cuya explicación encontramos en el enunciado del llamado TEOREMA DE FOURIER, que dice:

Toda señal periódica no senoidal de frecuencia f está formada por la suma de una señal senoidal de la misma frecuencia f, llamada fundamental, y de un número infinito de señales senoidales de frecuencia 2f, 3f, 4f, 5f..., etc., denominadas respectivamente SEGUNDO ARMÓNICO, TERCER ARMÓNICO, CUARTO ARMÓNICO, *etc. La amplitud de estos armónicos disminuye a medida que aumenta su frecuencia.*



Una onda periódica no senoidal es la suma de una onda senoidal fundamental y de un número infinito de armónicos.

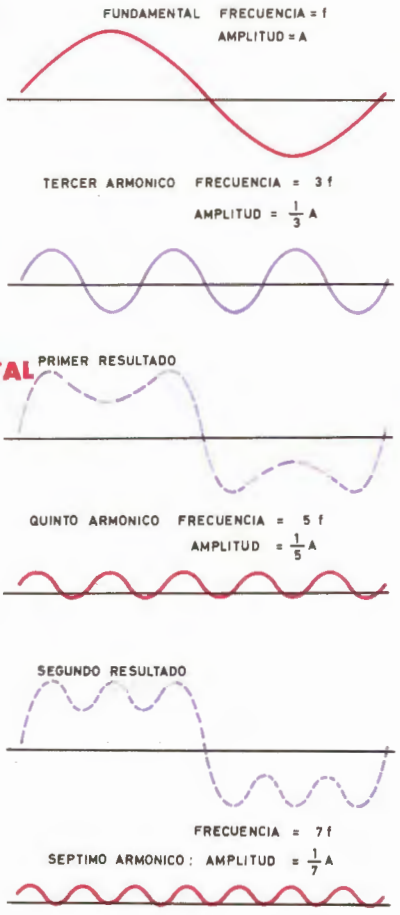
En el caso concreto de las ondas rectangulares se demuestra que el teorema de Fourier se cumple con los armónicos de orden impar. Es decir:

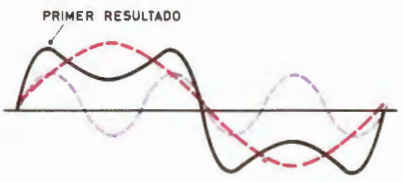
Una onda rectangular está formada por la fundamental y la suma de los armónicos impares, o sea los de frecuencia 3f, 5f, 7f, etc., cuya amplitud guarda, con respecto a la que tiene la fundamental, la proporción indicada por su orden. Así, la amplitud del tercer armónico es 1/3 de la fundamental; la del quinto armónico, 1/5 de la fundamental; 1/7 para el séptimo armónico, etc.

Para obtener una onda rectangular perfecta es preciso sumar a la fundamental todos los armónicos, que son infinitos en teoría; aunque, dada la circunstancia de que su amplitud disminuye a medida que aumenta la frecuencia, la influencia de los armónicos de orden muy elevado es despreciable. Puede admitirse, en general, que para obtener una onda prácticamente rectangular basta con sumar los armónicos impares hasta el 21 ó 23.

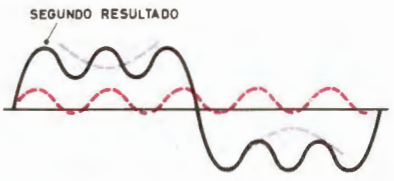
Veamos ahora si conseguimos una expresión gráfica que ilustre el proceso aditivo que a partir de la fundamental lleva a la onda rectangular a base de añadirle armónicos impares.

PROCESO DE LA FORMACION DE UNA ONDA RECTANGULAR POR SUMAS SUCESIVAS DE LOS ARMONICOS IMPARES A LA SENOIDE FUNDAMENTAL

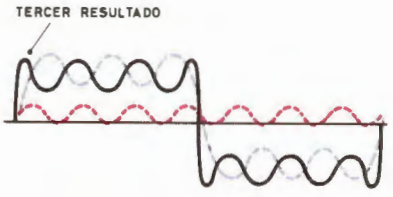




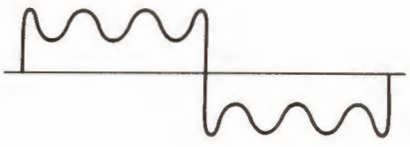
Primera suma: la senoide fundamental más el tercer armónico dan una onda periódica no senoidal de frecuencia f.



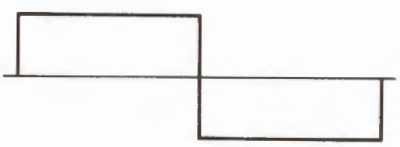
Segunda suma: el primer resultado más el quinto armónico dan una onda que por su forma general recuerda una señal rectangular.



Tercera suma: el segundo resultado más el séptimo armónico dan una onda cuyo parecido con una señal rectangular es ya evidente.



Por sumas sucesivas, llegaríamos a la onda rectangular correspondiente.

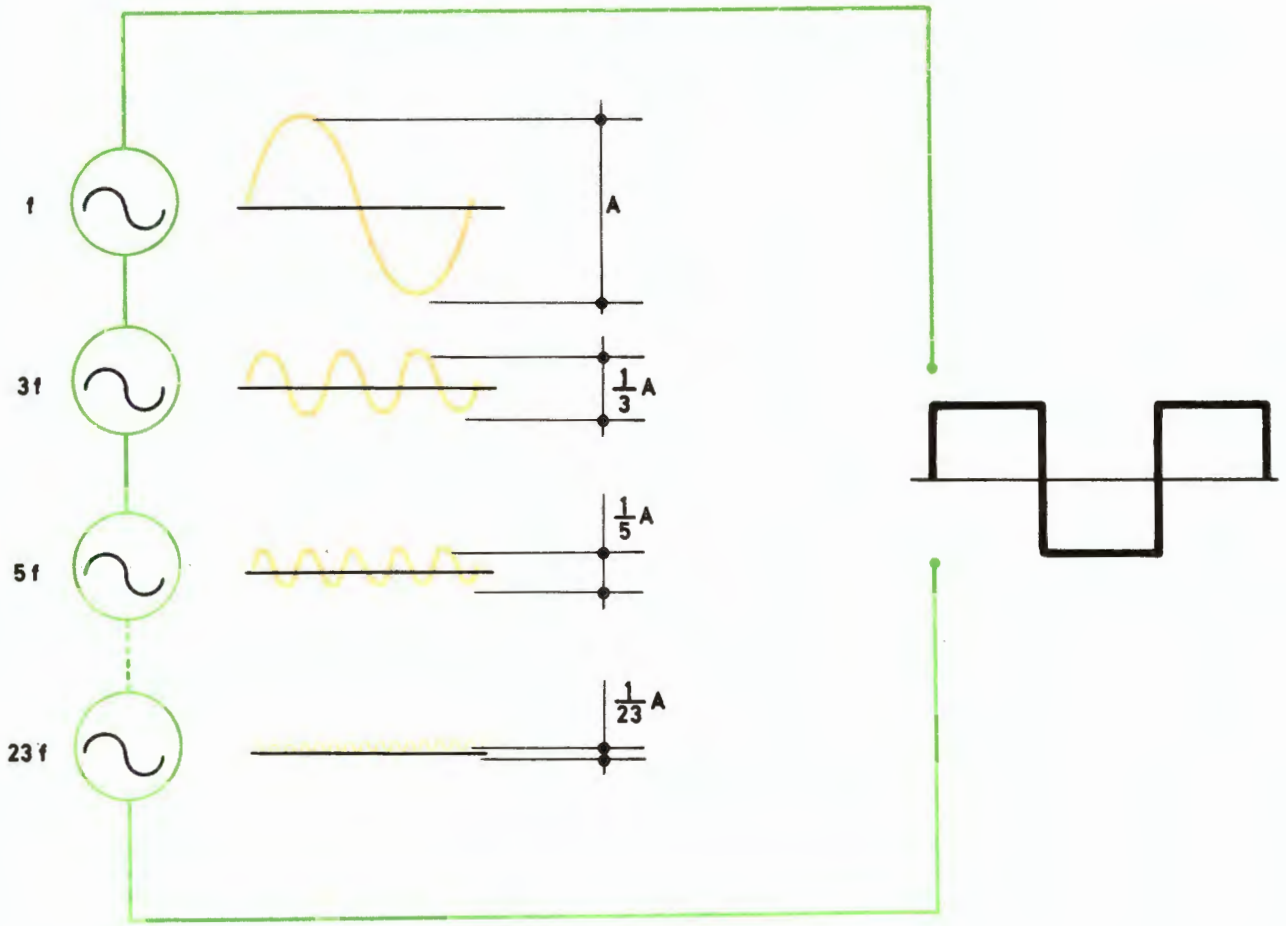


Enfoquemos la cuestión de otra manera: si disponemos de veintitrés generadores capaces de proporcionar una señal senoidal de frecuencia f, 3f, 5f, 7f..., 23f y de amplitud A, A/3, A/5, A/7..., A/23, la señal resultante de la conexión en serie de todos ellos será una onda rectangular.

Y ahora, si recordamos todo lo que hemos dicho sobre la distorsión de frecuencia, podremos comprender que si un amplificador no ofrece la misma ganancia para la fundamental y todos sus armónicos (lo cual significa que distorsiona en frecuencia para algunos de ellos) la señal de salida queda distorsionada.

Esto es lo que ocurría con nuestro supuesto amplificador cuando le inyectábamos una señal rectangular de 1 V_{pp} y f = 10000 c/s. En este caso, y según se aprecia en la curva de respuesta, la fundamental (10000 c/s) cae dentro de la zona plana y se amplifica correctamente; pero no así el tercer armónico de frecuencia 3f = 30000 c/s, y menos aún el quinto armónico (5f = 50000 c/s).

Y no digamos para todos los demás armónicos, que por su elevadísima frecuencia no se manifiestan sino muy superficialmente en la señal a la salida. De ahí que esta señal se parezca mucho más a una onda senoidal que a una onda rectangular.

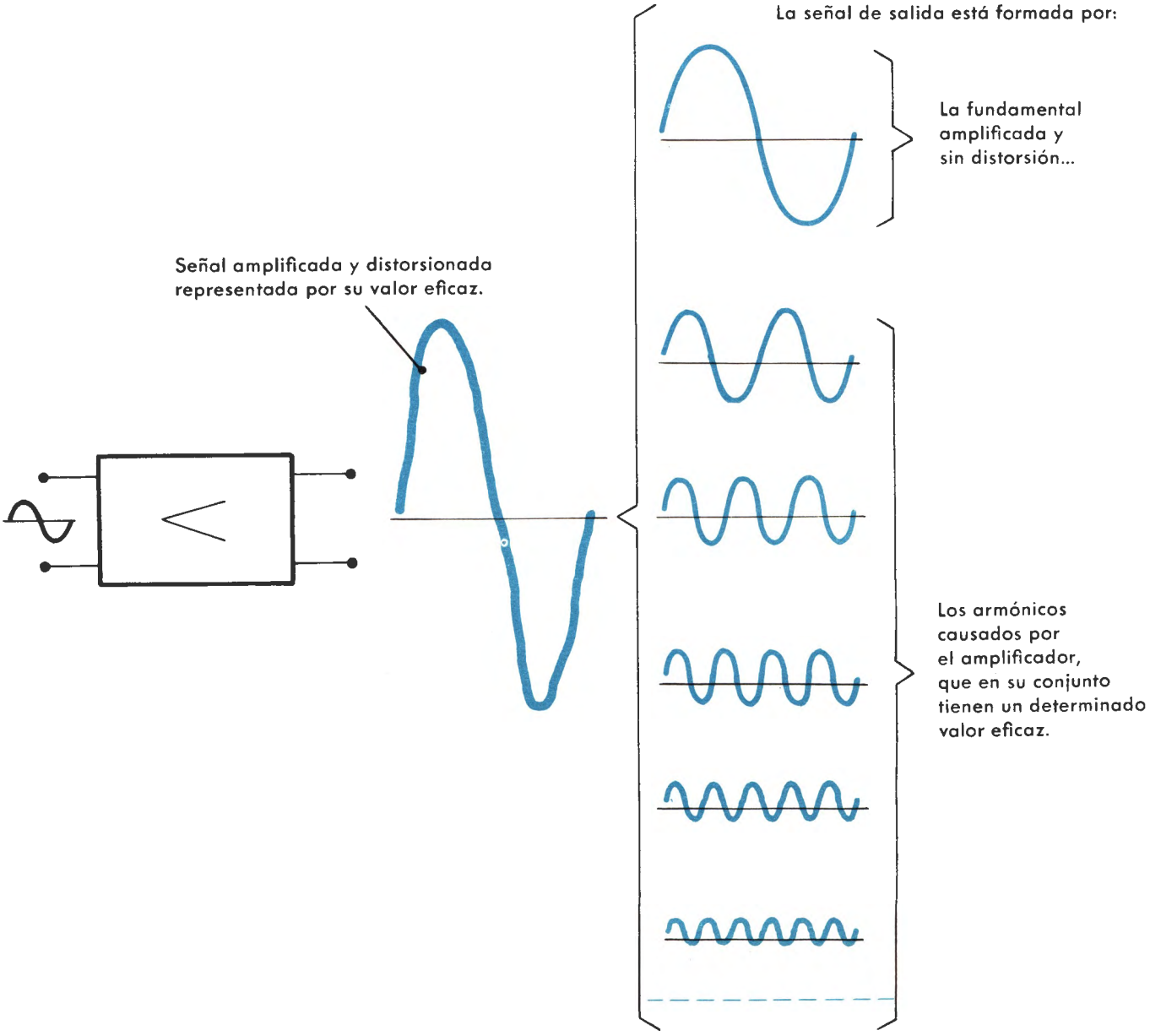


Una serie de generadores de frecuencia f, 3f, 5f, 7f..., 23 f y de amplitud de señal A, A/3, A/5, A/7..., A/23 dan por resulta do una señal rectangular.

COMO SE MIDE LA DISTORSION

El teorema de Fourier nos sugiere un método para la medición cuantitativa del grado de distorsión que produce un amplificador. En definitiva, se trata de *contar* el grado de distorsión, tomando como base comparativa la influencia que tienen los armónicos en tal distorsión.

Vamos a concretar: supongamos un amplificador que recibe una señal senoidal perfecta y que a la salida proporciona una señal que ya no es tal senoide; hay distorsión, cuando por tratarse de una señal senoidal lo correcto sería obtener otra senoide de mayor amplitud. Ello quiere decir que a la señal de origen se le ha sumado, en el amplificador, una serie de armónicos que han motivado la distorsión. Si de alguna manera podemos medir el valor de estos armónicos, tendremos la base comparativa necesaria para expresar cuantitativamente el grado de distorsión.



$$\text{Tanto por ciento de distorsión} = \frac{\text{Valor eficaz de los armónicos de la señal de salida}}{\text{Valor eficaz de la señal de salida}} \times 100$$

He ahí el fundamento de la medición cuantitativa de la distorsión proporcionada por un amplificador.

El método es el siguiente, lo describimos de forma muy sucinta:

La señal a la salida del amplificador tendrá, evidentemente, determinado valor eficaz. Ese valor eficaz no es más que la suma del valor eficaz de la fundamental más todos los armónicos, y por tanto al valor eficaz total contribuye en un determinado tanto por ciento el conjunto de los armónicos. Pues bien, ese tanto por ciento es el que se da como distorsión.

Hemos procurado darle a grandes rasgos una idea del procedimiento que se emplea para medir el grado de distorsión de un amplificador. Es, desde luego, una explicación exclusivamente descriptiva. Usted ya comprende que obtener este porcentaje no es tan sencillo, y ciertamente así es.

* * * * *

LECCION 24

Los controles de tono

Grabación y reproducción de discos

Estudio de un amplificador para tocadiscos

Estudio práctico de una maleta tocadiscos

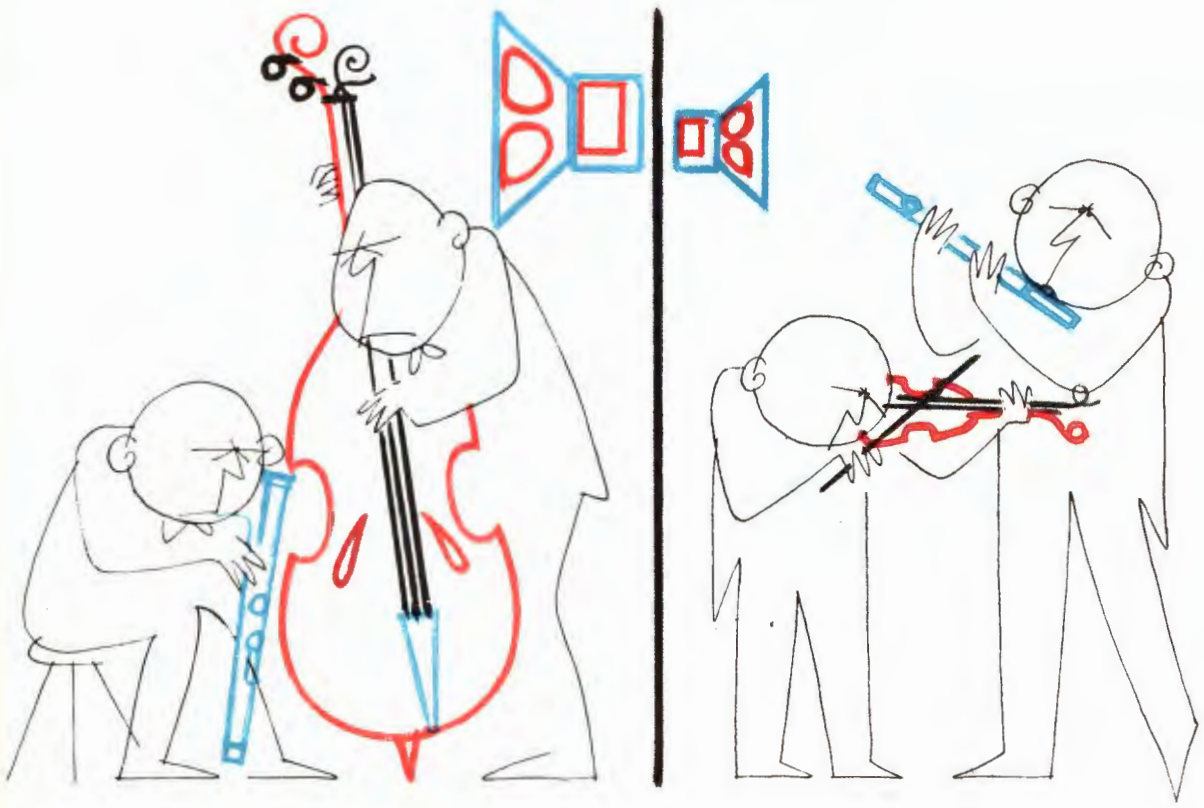
Controles de tono en los amplificadores de sonido

INTRODUCCION

Con la lección anterior hemos dado fin a una serie de conocimientos fundamentales sobre las cualidades y defectos de los amplificadores en general, y en particular de los amplificadores de sonido. Hemos visto cómo es posible conseguir elevada potencia de salida, gran sensibilidad y (cosa muy importante) cuál es la forma de evitar en lo posible la distorsión, tanto de amplitud como de frecuencia. Sin embargo, a la hora de emprender el montaje de un amplificador deben tenerse en cuenta algunas consideraciones de orden práctico, sin las cuales difícilmente podría alcanzarse un resultado satisfactorio.

Estas consideraciones se refieren principalmente a la necesidad absoluta de alambrar con cuidado y tomar las pertinentes precauciones para conseguir un filtrado lo más perfecto posible. De otra forma, si se desprecia la importancia de tales precauciones, el altavoz produce un zumbido continuo que se mezcla con la música o las palabras y hace muy poco agradable su audición.

Otro detalle a tener en cuenta es el siguiente: cuando se escucha una grabación musical, pongamos por caso, suele diferir mucho el gusto de las personas acerca de las condiciones en que la reproducción debe tener lugar: algunos desean que predominen los tonos graves y aterciopelados del contrabajo o del fagot; otros, en cambio, prefieren una mayor presencia de las notas agudas y brillantes del violín o de la flauta. Cuando se escucha la voz humana, en fin, es preferible acondicionar el amplificador para que reproduz-



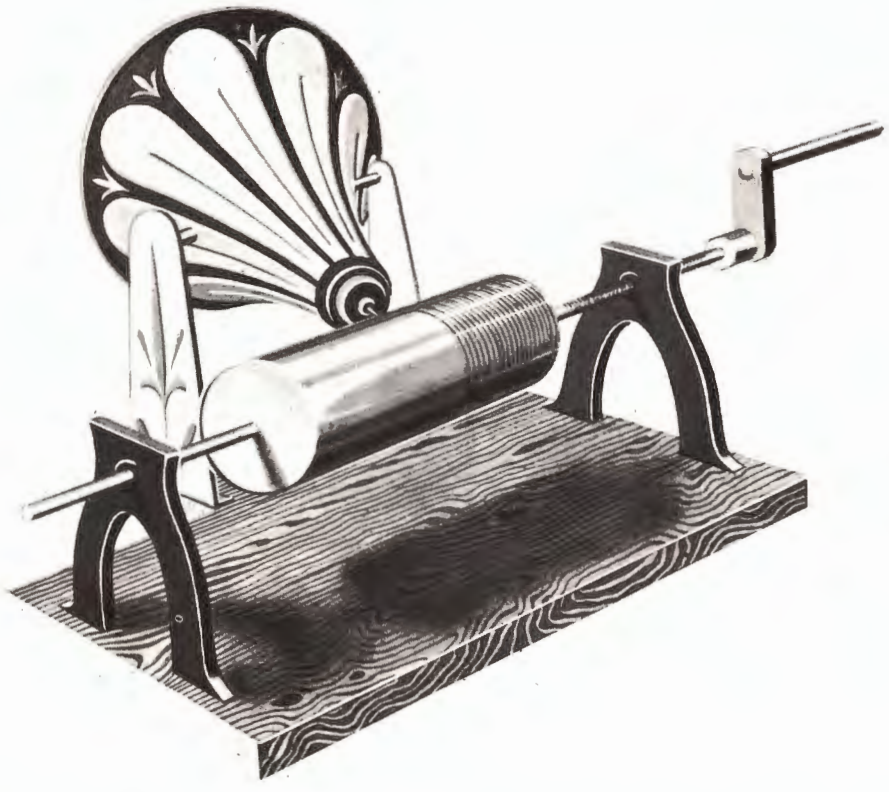
ca con preferencia las notas medias, ya que un exceso de notas graves o agudas la hacen desagradable y difícil de entender. Resulta, pues, que si bien en principio un amplificador debe tener una *respuesta plana* para todas las frecuencias de la gama de audio, en ocasiones también convendrá alterar esa respuesta a fin de obtener cierta preponderancia de unas tonalidades sobre otras. Lo conseguiremos añadiendo al amplificador los llamados *controles de tono.*

El objeto de esta lección es, precisamente, estudiar las particularidades y constitución de estos controles.

A fin de concretar, efectuaremos el estudio sobre un amplificador adecuado para equipar un tocadiscos; de esa forma habremos realizado nuestro primer *montaje profesional.* Antes de iniciarse, sin embargo, en el estudio de este amplificador conviene que analicemos (sin prejuicio de hacerlo después más detalladamente en las lecciones de ALTA FIDELIDAD) los principios de la grabación y reproducción de discos.

GRABACION Y REPRODUCCION DE DISCOS

Los fundamentos de la grabación de discos deben buscarse en el fonógrafo de Edison. Este aparato, ideado por Tomás Alba Edison, consta de un cilindro de cera virgen provisto de un eje con un extremo roscado que se apoya en una tuerca que le sirve de cojinete. El otro extremo del eje es liso y se apoya en un cojinete también liso; a este extremo se acopla una manivela. Sobre este cilindro se apoya un estilete o aguja, unida a una lámina denominada diafragma que constituye el fondo de una bocina a la cual está unida elásticamente.



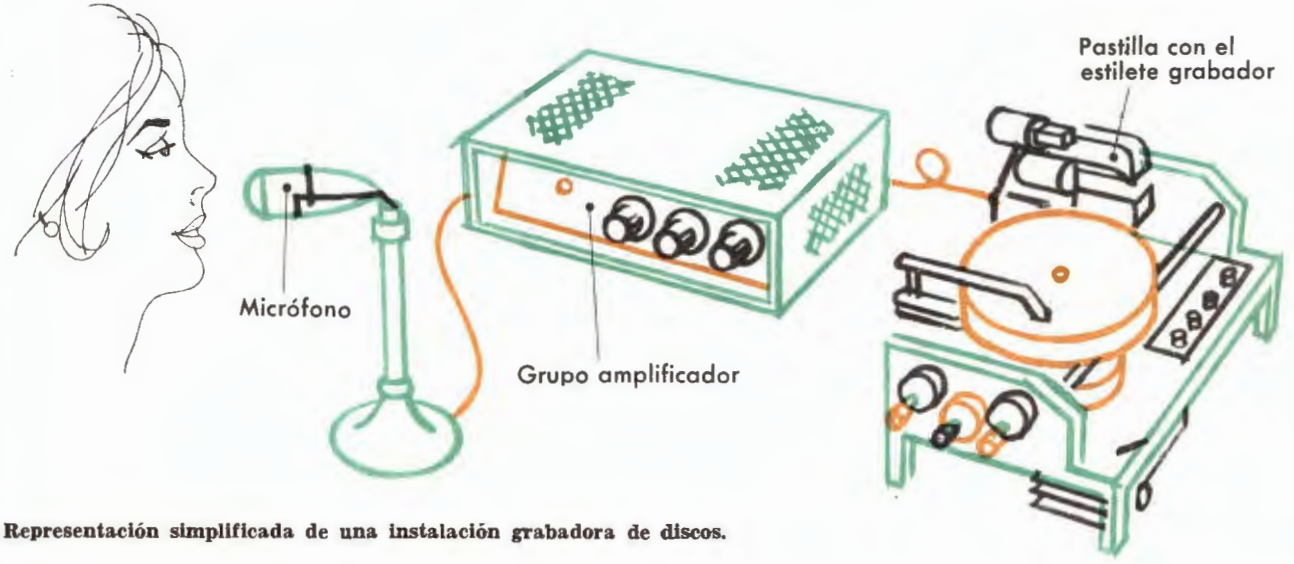
Un aparato que merece respeto: el fonógrafo Edison, promotor y padre de los actuales tocadiscos.

Al hacer girar la manivela el cilindro gira y al mismo tiempo se desplaza lateralmente a causa de la rosca del eje; gracias a este doble movimiento el estilete describe un surco helicoidal (en forma de muelle) sobre el cilindro. Si se habla frente a la bocina, las presiones o depresiones de la onda sonora harán que el diafragma oprima más o menos el estilete apoyado en el cilindro de cera, de forma que los sonidos se traducen sobre el surco en impresiones más o menos profundas.

Las presiones y depresiones de las ondas sonoras dirigidas al interior del embudo harán que la aguja presione más o menos la cera del tambor.

Una vez acabada la grabación puede reproducirse el sonido sin más que repetir el movimiento del cilindro a partir del extremo por el que se empezó a grabar, ya que las irregularidades del surco mueven el diafragma en igual forma en que lo hizo la voz. Por supuesto la reproducción, aunque inteligible, dejaba mucho que desear en cuanto a fidelidad.

En los modernos fonógrafos se ha sustituido el cilindro por un disco plástico semiblando que gira sobre su centro y está soportado por un plato accionado por un motor eléctrico a través de un juego de poleas o engranajes. El estilete no está accionado directamente por las ondas sonoras, sino por las corrientes eléctricas originadas en un micrófono y amplificadas.

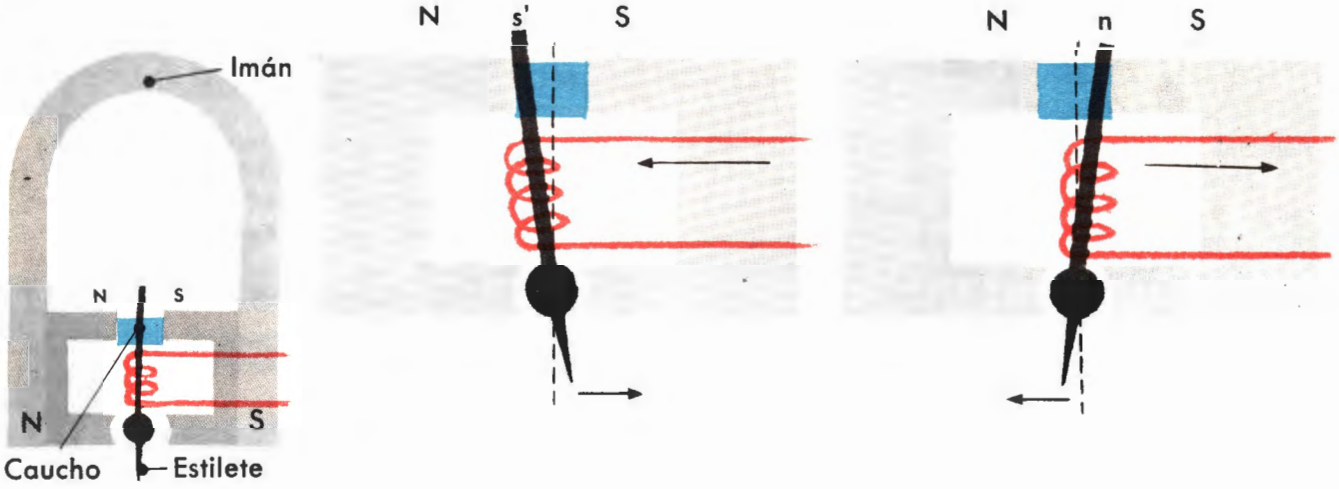


Representación simplificada de una instalación grabadora de discos.

El estilete, junto con el mecanismo que lo acciona, está alojado en el extremo de un brazo, que puede girar alrededor de un eje vertical, al que se imprime un lento movimiento que le lleva desde la periferia hacia el centro del disco, de forma que el estilete describe sobre este último, al girar el plato, un surco en espiral.

Vea ahora en la figura el detalle del mecanismo que acciona el estilete: consiste, en esencia, en un imán a cuyos polos se le han añadido unas piezas de forma especial, y una pequeña bobina que rodea el estilete sin impedir su ligero movimiento. Normalmente, en ausencia de señales, el estilete permanece en posición vertical, centrado entre los polos del imán por medio de unos trocitos de caucho. Cuando la bobina recibe corriente, aquél se desplaza perpendicularmente al surco hacia un lado u otro, según sea el sentido de esa corriente.

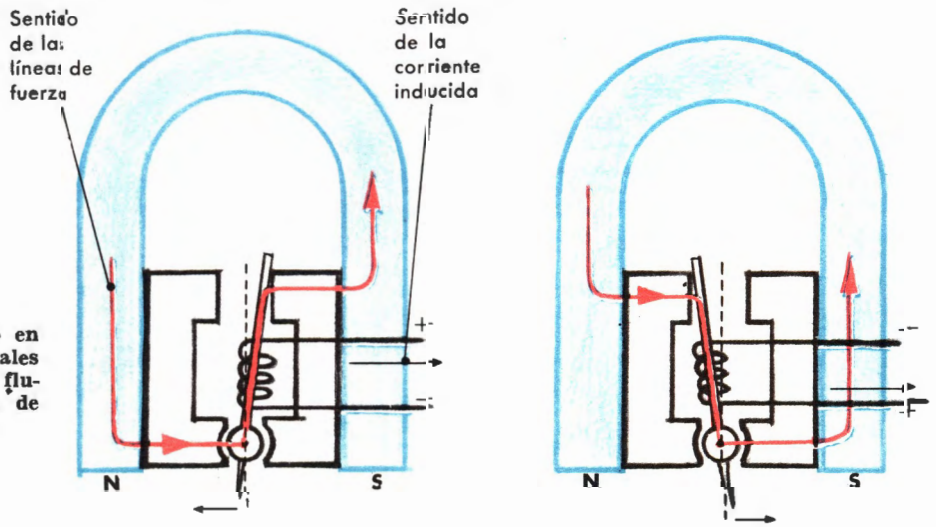
Esos desplazamientos se traducen en ondulaciones de los lados del surco y el sonido queda así impresionado.



Funcionamiento del grabador de discos electromagnético. Al recibir corrientes variables el estilete se desplaza lateralmente.

Si se invierte la operación, haciendo que el estilete recorra el surco impresionado, las ondulaciones harán que sus desplazamientos repitan exactamente los movimientos que han originado la grabación, los que motivan variaciones del flujo a través de la bobina que rodea el estilete.

Ello es causa de que aparezca una tensión variable en la bobina; tensión que, convenientemente amplificada, puede reproducir el sonido original en un altavoz.



Reproducción del sonido grabado en un disco. Los movimientos laterales del estilete varían el sentido del flujo. Ello da lugar a la aparición de corrientes inducidas en la bobina.

Un grabador y un reproductor de discos sólo difieren en esencia en que aquél debe estar provisto de un mecanismo que provoque el movimiento lento del brazo hacia el centro del disco, mientras que en el segundo no es necesario tal mecanismo porque el propio surco del disco se encarga de arrastrar al brazo, puesto que la aguja queda encajada en la hendidura.

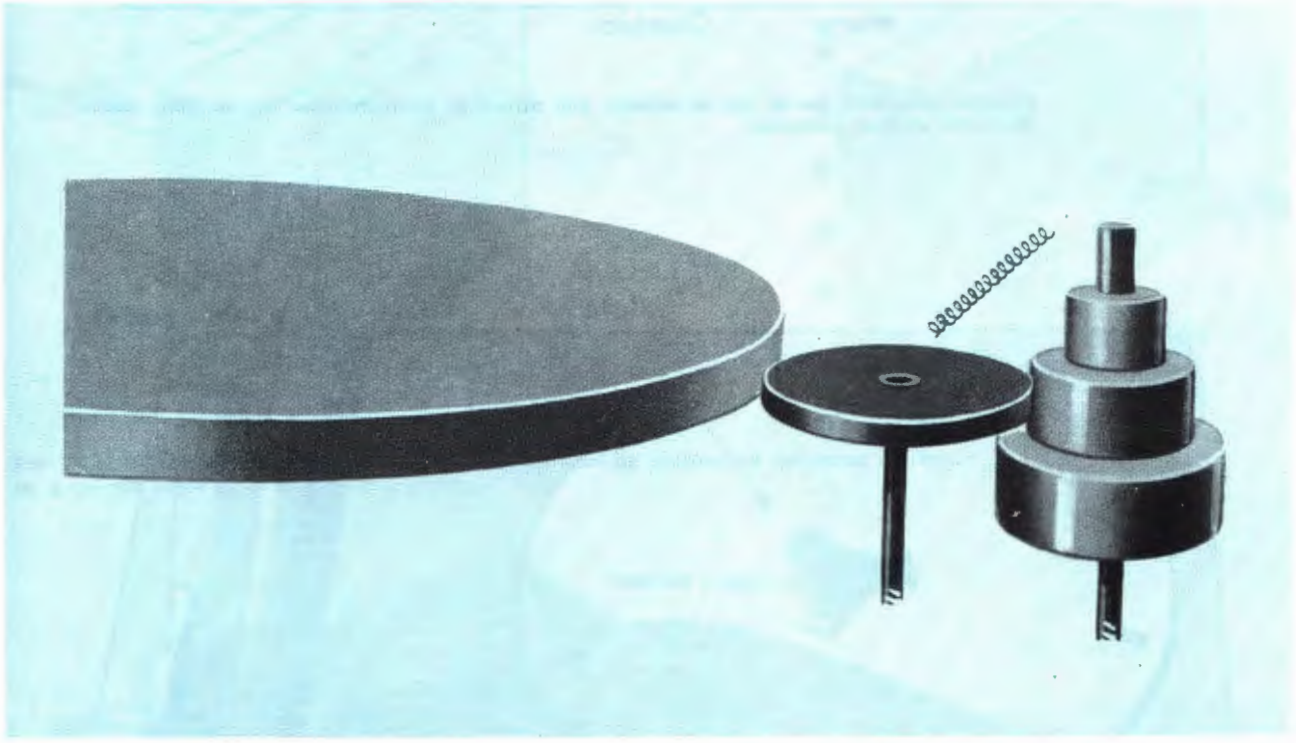
En la práctica, sin embargo, las condiciones de precisión mecánica que requiere el grabador son mucho mayores que las del reproductor. Por ello, los aparatos que se encuentran en el comercio son únicamente reproductores.

Para la grabación de discos se emplea como velocidad de giro del plato uno de estos cuatro valores: 78 r.p.m., 45 r.p.m., 33 1/3 r.p.m., 16 r.p.m. De ahí que los reproductores posean un mecanismo de cambio de velocidad que permita hacer girar el plato a cualquiera de las velocidades indicadas.

Una solución muy empleada para conseguir este cambio de velocidad es situar en el eje del motor una polea múltiple con cuatro diámetros distintos. Una rueda loca con borde de caucho se apoya en uno cualquiera de los cuatro diámetros de la polea múltiple. Esta rueda transmite el movimiento de giro al plato.

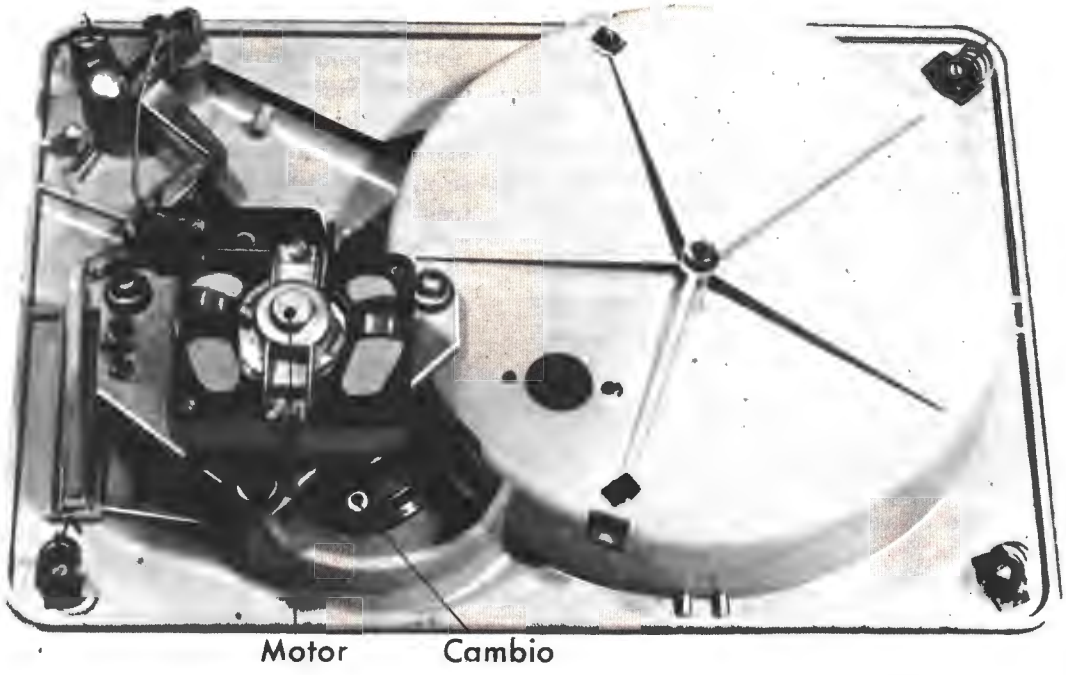
La velocidad del plato depende del diámetro de la polea motora que se haya seleccionado.

El brazo que en el reproductor efectúa la lectura del sonido se denomina *fonocaptor;* también es de uso común la expresión inglesa *pick-up.* El conjunto formado por el imán, la bobina y el estilete o aguja, fácilmente separables del brazo, recibe el nombre de *pastilla* o *cápsula.* El conjunto de plato y motor se denomina giradiscos.

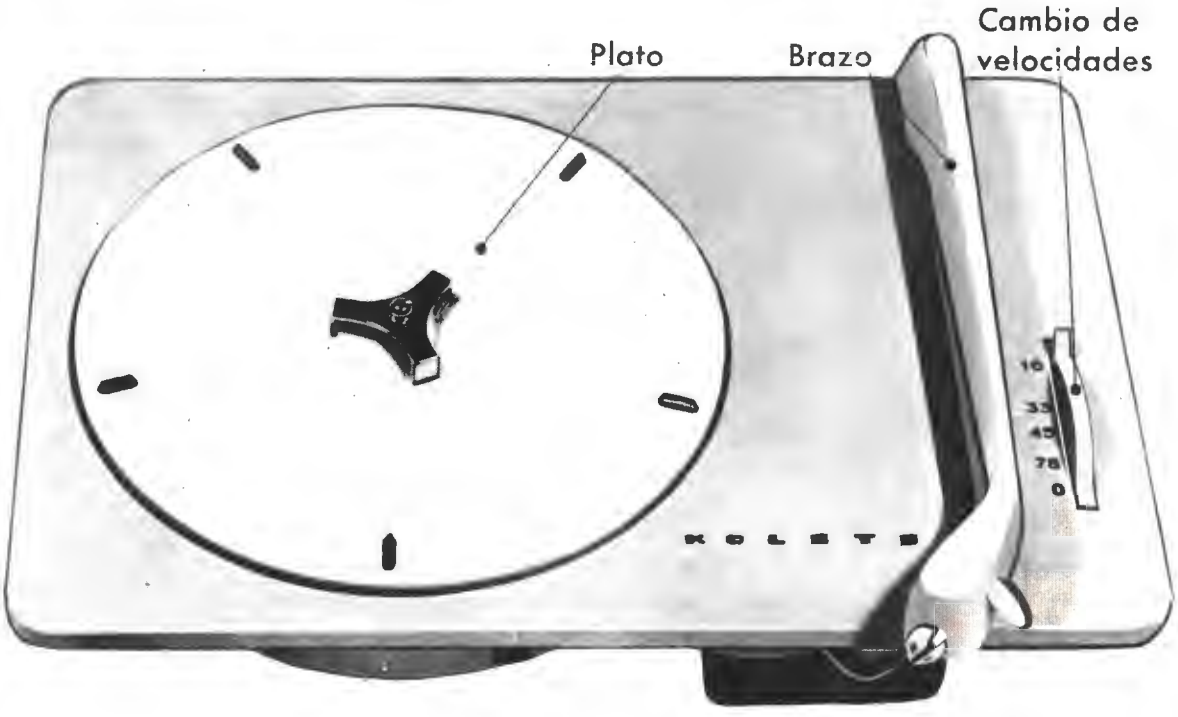


Esquema del mecanismo del cambio de velocidades de un tocadiscos.

Vea, en la página siguiente, dos fotografías que ilustran estos comentarios sobre los mecanismos de un plato tocadiscos.



En esta fotografía puede ver el aspecto que ofrece la parte interior de un plato tocadiscos de modelo corriente.



Fotografía de un plato tocadiscos de modelo normal, donde se indican sus partes básicas.

CAPSULAS DE CRISTAL - PIEZOELECTRICIDAD

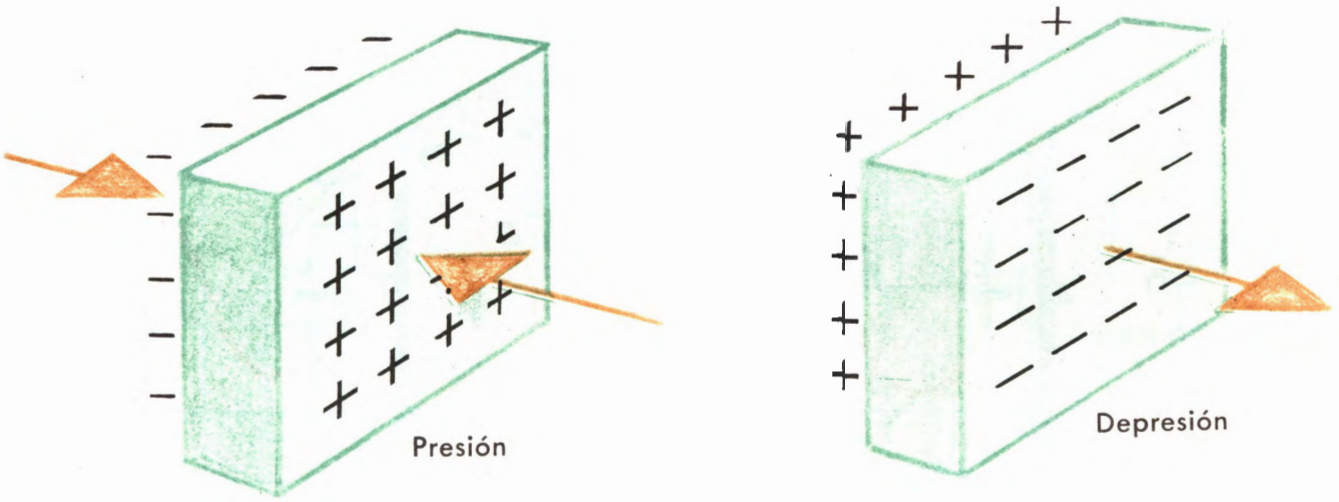
Hoy en día, de hecho, son mucho más empleadas las llamadas *pastillas de cristal* que las pastillas electromagnéticas que hemos escrito. Estos ingenios se basan en la propiedad que tienen algunos cristales naturales, como el cuarzo, consistente en la aparición de una d.d.p. entre sus caras cuando se ejerce una determinada presión sobre ellas. Además, el valor de esta d.d.p. varía proporcionalmente a la magnitud de la presión a que se somete el cristal.

Esta propiedad se conoce con el nombre de PIEZOELECTRICIDAD.

Las cápsulas piezoeléctricas están constituidas por un cristal al que se transmiten las vibraciones que la aguja recibe del disco. Con ello aparece entre las caras opuestas del cristal una diferencia de potencial variable, que puede ser aplicada a un amplificador mediante dos conductores soldados a esas caras, sobre las que previamente se ha depositado una delgada película metálica.

Estas cápsulas, cuando efectúan la lectura de un disco, proporcionan una tensión del orden de medio voltio.

La piezoelectricidad se utiliza también en la construcción de micrófonos, en cuyo caso es la voz humana, o el sonido en general, lo que motiva las vibraciones.



Este es el principio de la piezoelectricidad: los cambios de presión en las caras del cristal provocan entre ellas una d.d.p. variable.

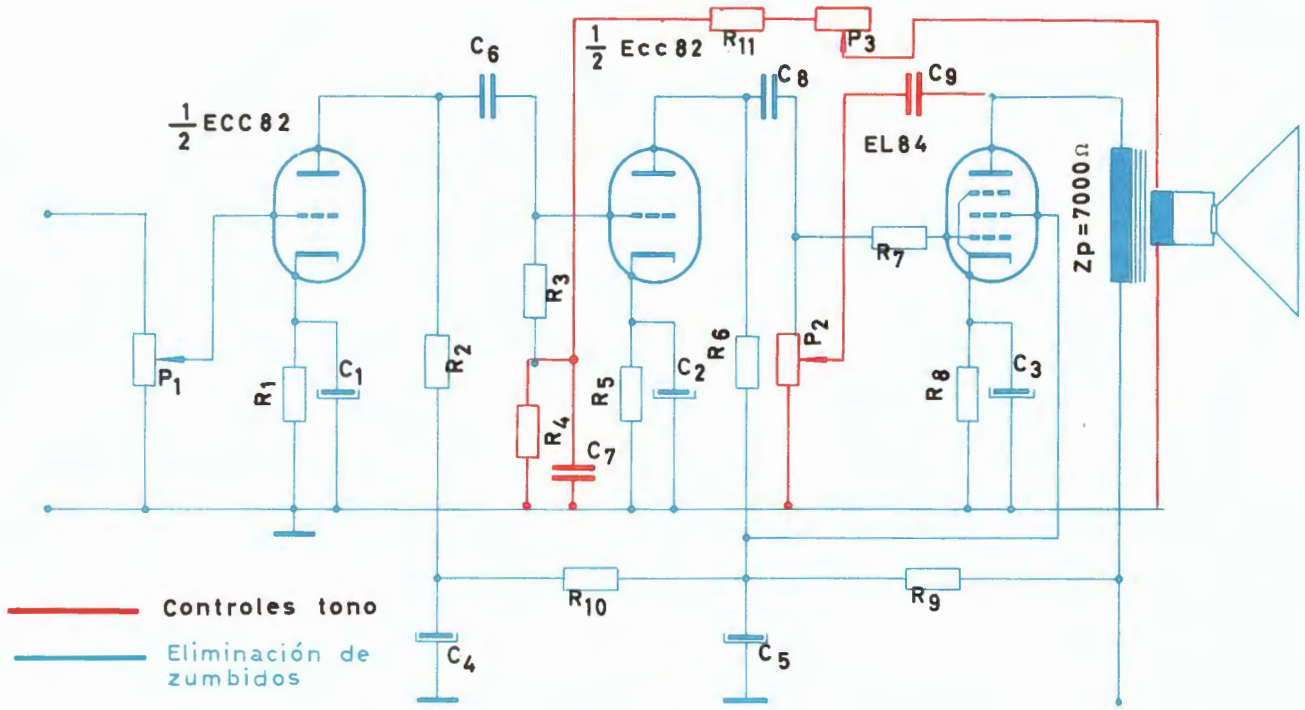
Parte anterior del brazo de un tocadiscos, donde se ubica la pastilla piezoeléctrica.

UN AMPLIFICADOR PARA TOCADISCOS

El esquema inmediato corresponde a un amplificador adecuado para equipar un tocadiscos provisto de brazo fonocaptor con pastilla de cristal.

Está formado, como puede ver, por dos pasos amplificadores de tensión, que utilizan las dos mitades de un doble triodo ECC82, y un paso de potencia equipada con una EL84. Ninguna dificultad encontrará usted en comprender el funcionamiento de cada uno de estos pasos, que ya hemos analizado; pero en el esquema aparecen algunos elementos adicionales dibujados en dos colores que requieren alguna explicación.

Uno de estos colores distingue los componentes que constituyen los controles de tonalidad. Con otro color distinguimos los elementos destinados a evitar el zumbido originado por un filtrado insuficiente de la corriente proporcionada por el rectificador. Recuerde que hemos hablado de ello al principio.



Lista de componentes

Potenciómetros	Resistencias	Condensadores
P_1. — Potenciómetro log. 500 KΩ	R_1 R_5 . . 2,2 KΩ 1/2 W	C_1 C_2 . . 50 µF 12 V.
P_2. — Potenciómetro lin. 500 KΩ	R_2 R_3 R_6 . 100 KΩ 1/2 W	C_3 . . 100 µF 25 V.
P_3. — Potenciómetro lin. 500 KΩ	R_4 . . . 220 KΩ 1/2 W	C_4 C_5 . . 8 µF 350 V.
	R_7 R_9 . . 10 KΩ 1/2 W	C_6 C_8 . . 27000 pF 400 V.
	R_8 . . . 150 Ω 1 W	C_7 . . 1000 pF cerámico
	R_{10} . . . 56 KΩ 1/2 W	C_9 . . 220 pF mica
	R_{11} . . . 39 KΩ 1/2 W	.

CONTROLES DE TONO

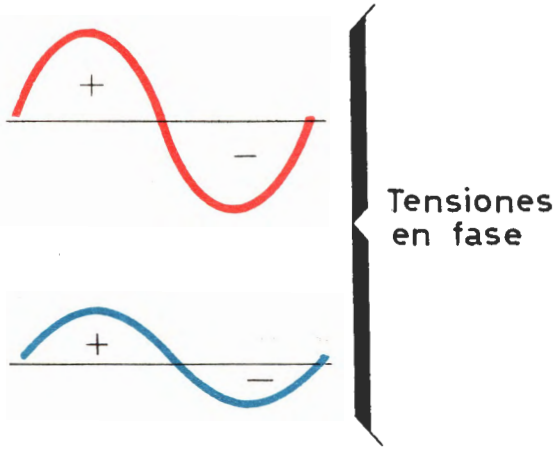
El amplificador está equipado con un control que actúa sobre la ganancia del amplificador en las frecuencias altas de la gama de audio. Este control, que recibe el nombre de CONTROL DE AGUDOS, está formado por el potenciómetro P_2 y el condensador C_{10}.

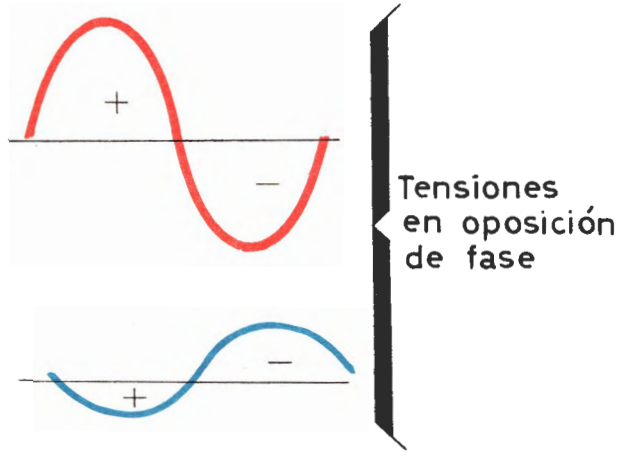
El potenciómetro P_3, las resistencias R_1 y R_4 y el condensador C_7 constituyen el CONTROL DE GRAVES, con el que puede variarse a voluntad la ganancia del amplificador para las frecuencias bajas de la gama de audio.

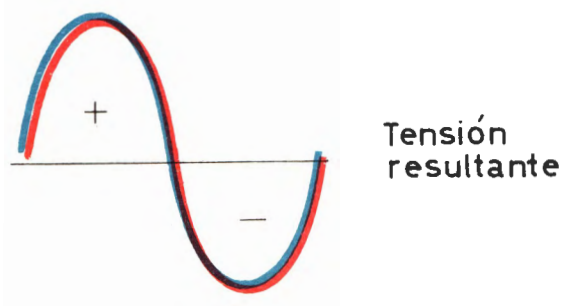
Los dos controles están basados en el principio de la realimentación negativa explicado en la lección 14; de forma que, si no lo tiene usted bien presente, es preferible que consulte dicha lección antes de seguir adelante.

CONTROL DE AGUDOS

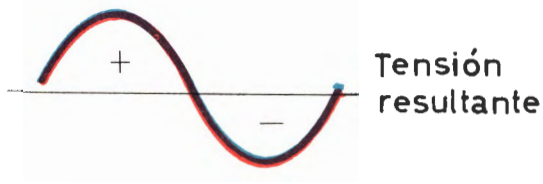
Este control se basa en el hecho explicado en la lección 17, pág. 164, cuando decíamos que la tensión de rejilla y la tensión de placa de una válvula termoiónica están en oposición de fase y que dos tensiones alternas, presentes en un mismo circuito, se suman si están en fase y se restan si están en oposición de fase. La cosa es inmediata: si están en fase esas tensiones tienen en todo momento el mismo signo (positivo o negativo) y por tanto se suman. Si, por lo contrario, están en oposición, tienen en todo instante, signos contrarios y se restan.





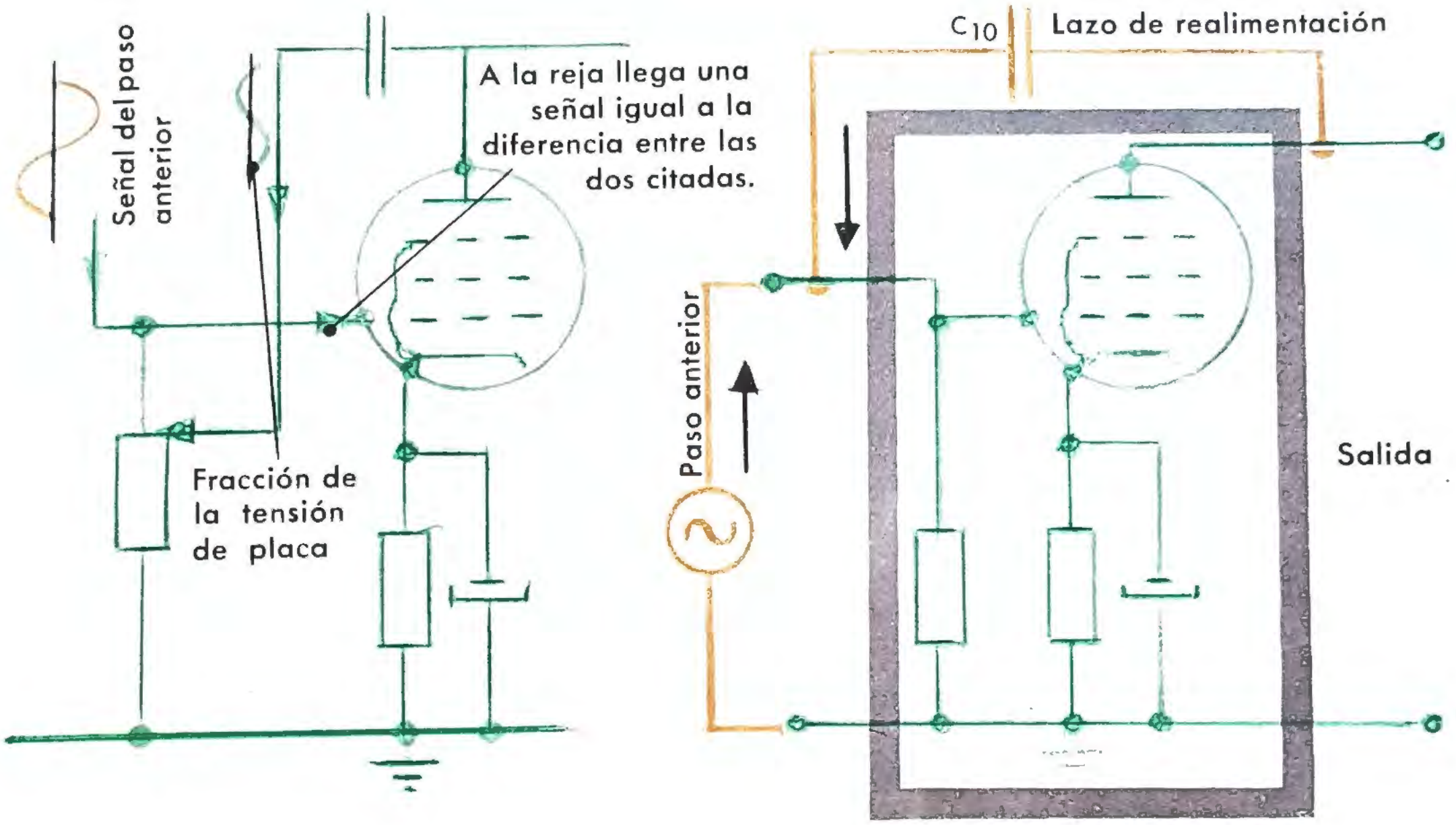


Si dos tensiones presentes en un mismo circuito están en oposición de fase, se restarán.



Dos tensiones presentes en un mismo circuito se suman cuando estan en fase.

Pues bien; vea ahora la figura adjunta, en la que para simplificar hemos supuesto que el cursor está en contacto con el extremo superior del potenciómetro. También, para simplificar, prescindiremos de la resistencia R_7, cuyo papel explicaremos más adelante.



En el gráfico de la izquierda se indican las condiciones en que trabaja el amplificador cuando el cursor del potenciómetro está en el extremo superior de su resistencia. El gráfico de la derecha corresponde al mismo esquema (el potenciómetro actúa como una resistencia de valor fijo), pero expresado de forma que se ajuste a la imagen que en la lección 14 representaba un amplificador con lazo de realimentación.

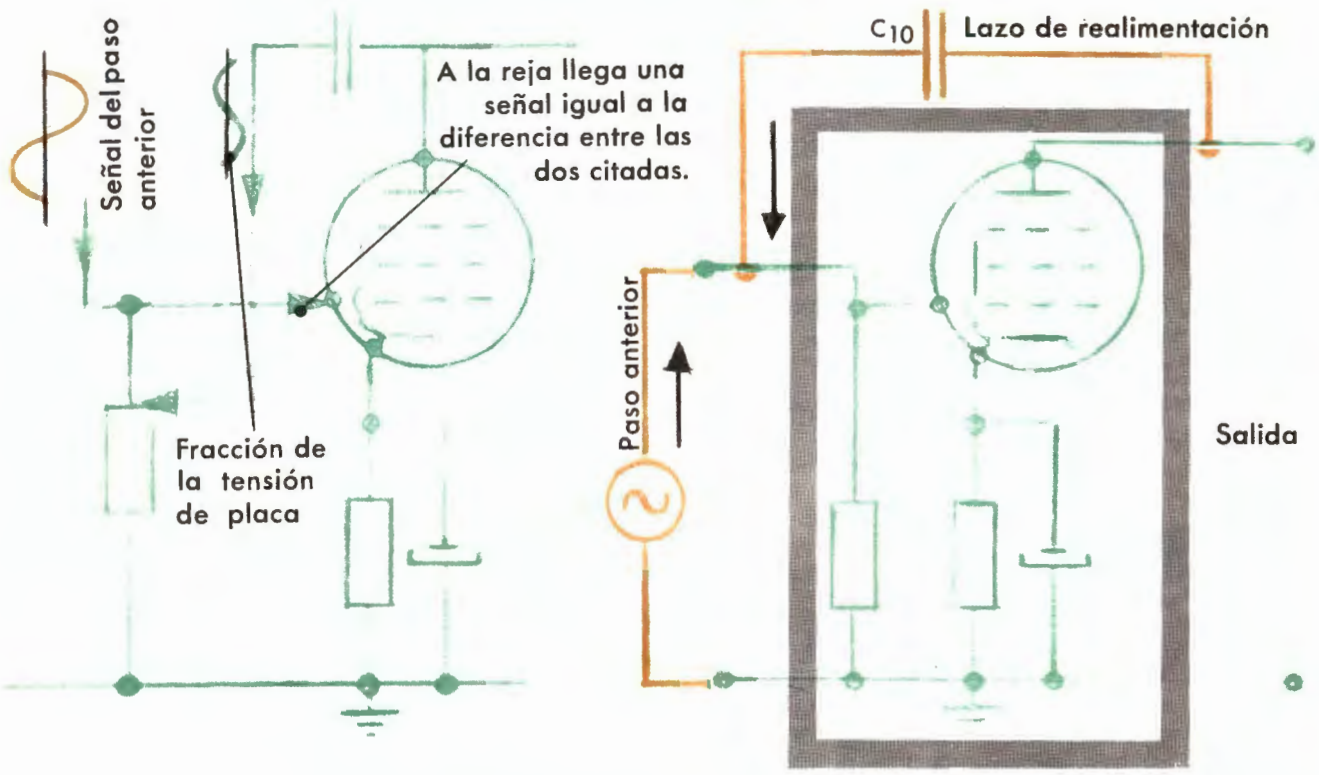
A la rejilla de la EL84 llega, por un lado, la tensión procedente de la segunda mitad de la ECC82; y por otro, una fracción de la tensión de placa de la propia EL84, que, como sabemos, está en oposición de fase con la anterior, por lo que se restará de ella.

La EL84 es, pues, un amplificador realimentado en que el lazo de realimentación es el condensador C_{10} y cuya realimentación es negativa. La ganancia, pues, disminuye. En realidad, la realimentación (y por tanto la disminución de la amplificación) sólo se da para las frecuencias más altas; es decir, para los tonos más agudos.

En efecto: la tensión alterna presente en la placa de la EL84 se reparte entre el potenciómetro P_2 y el condensador C_{10} en proporción directa a la resistencia del primero y a la reactancia del segundo. Ahora bien; este pequeño condensador (250 pF) tiene para las frecuencias bajas una reactancia mucho mayor que la resistencia de P_2, y por tanto sólo una pequeña fracción de la tensión de placa llega a alcanzar la rejilla. El grado de contrarreacción es, por tanto, muy pequeño y en consecuencia la amplificación de las frecuencias bajas es normal. Para las frecuencias altas ocurre lo contrario: la reactancia del condensador disminuye; la realimentación negativa aumenta en consecuencia y el resultado final es una amplificación menor.

Todo ello, empero, en el supuesto de que el cursor del potenciómetro esté en el extremo superior. Se comprende que si está en una posición intermedia la tensión de placa de la EL84 deberá repartirse entre el condensador y el valor de la resistencia del potenciómetro comprendida entre dicho cursor y masa. Cuando más pequeño sea ese valor, menor será la tensión de contrarreacción inyectada en el circuito de rejilla, por lo que

Pues bien; vea ahora la figura adjunta, en la que para simplificar hemos supuesto que el cursor está en contacto con el extremo superior del potenciómetro. También, para simplificar, prescindiremos de la resistencia R_7, cuyo papel explicaremos más adelante.



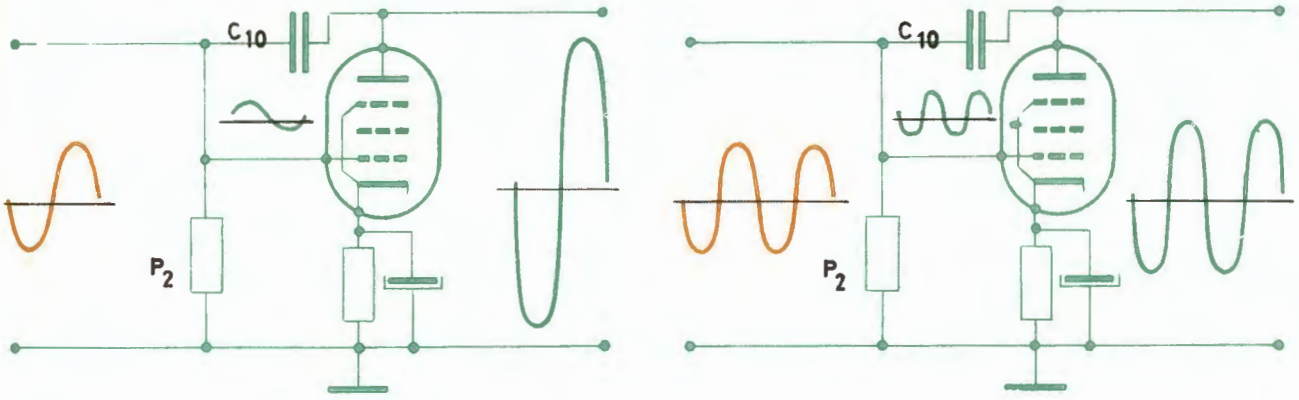
En el gráfico de la izquierda se indican las condiciones en que trabaja el amplificador cuando el cursor del potenciómetro está en el extremo superior de su resistencia. El gráfico de la derecha corresponde al mismo esquema (el potenciómetro actúa como una resistencia de valor fijo), pero expresado de forma que se ajuste a la imagen que en la lección 14 representaba un amplificador con lazo de realimentación.

A la rejilla de la EL84 llega, por un lado, la tensión procedente de la segunda mitad de la ECC82; y por otro, una fracción de la tensión de placa de la propia EL84, que, como sabemos, está en oposición de fase con la anterior, por lo que se restará de ella.

La EL84 es, pues, un amplificador realimentado en que el lazo de realimentación es el condensador C_{10} y cuya realimentación es negativa. La ganancia, pues, disminuye. En realidad, la realimentación (y por tanto la disminución de la amplificación) sólo se da para las frecuencias más altas; es decir, para los tonos más agudos.

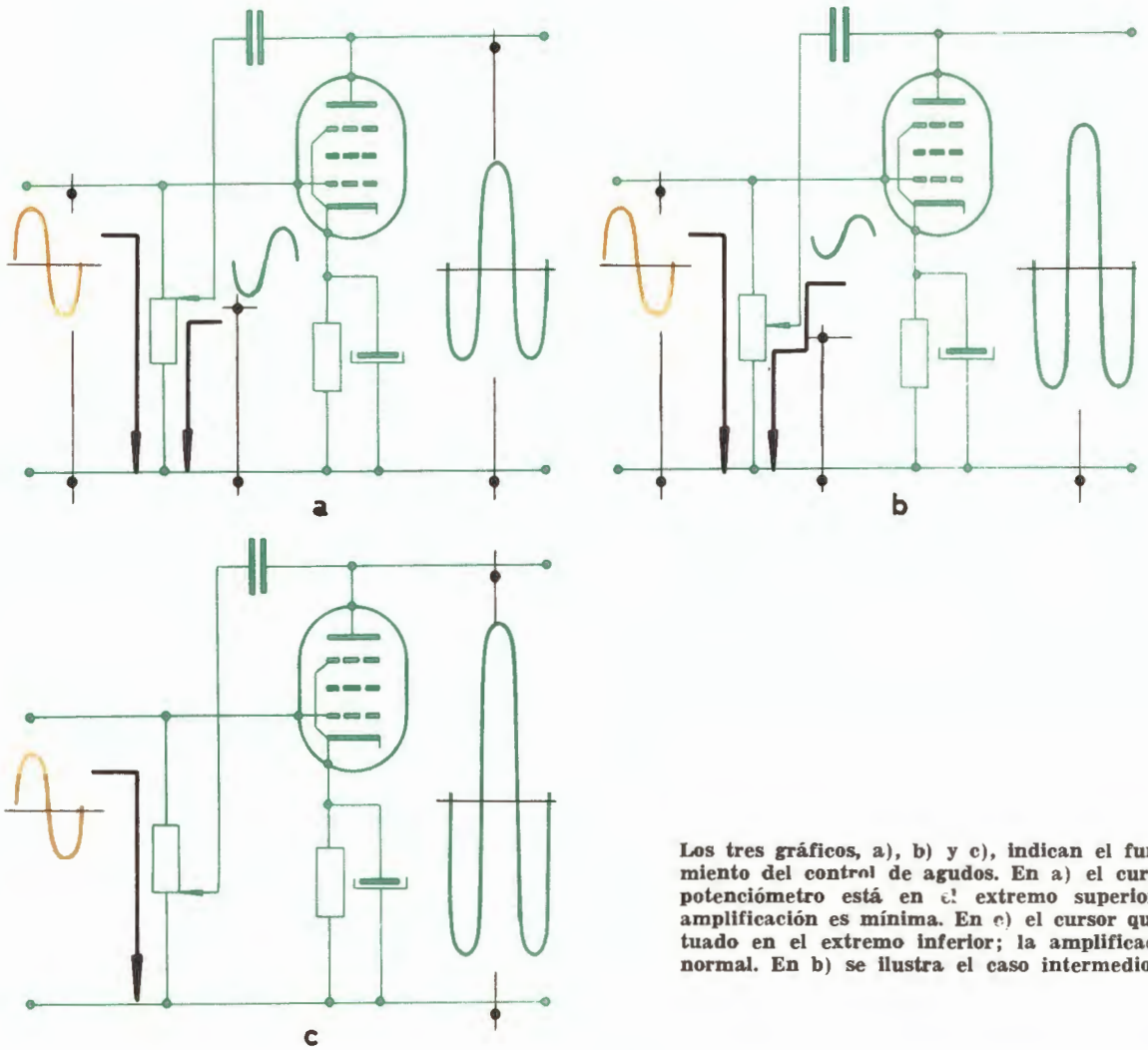
En efecto: la tensión alterna presente en la placa de la EL84 se reparte entre el potenciómetro P_2 y el condensador C_{10} en proporción directa a la resistencia del primero y a la reactancia del segundo. Ahora bien; este pequeño condensador (250 pF) tiene para las frecuencias bajas una reactancia mucho mayor que la resistencia de P_2, y por tanto sólo una pequeña fracción de la tensión de placa llega a alcanzar la rejilla. El grado de contrarreacción es, por tanto, muy pequeño y en consecuencia la amplificación de las frecuencias bajas es normal. Para las frecuencias altas ocurre lo contrario: la reactancia del condensador disminuye; la realimentación negativa aumenta en consecuencia y el resultado final es una amplificación menor.

Todo ello, empero, en el supuesto de que el cursor del potenciómetro esté en el extremo superior. Se comprende que si está en una posición intermedia la tensión de placa de la EL84 deberá repartirse entre el condensador y el valor de la resistencia del potenciómetro comprendida entre dicho cursor y masa. Cuando más pequeño sea ese valor, menor será la tensión de contrarreacción inyectada en el circuito de rejilla, por lo que



Los gráficos ilustran cómo la amplificación disminuye para las frecuencias altas a causa de la realimentación negativa introducida por el condensador C_{10}.

menos disminuida quedará la amplificación. En particular, si el cursor está en contacto con el extremo inferior del potenciómetro no hay contrarreacción en absoluto y la ganancia es normal también para las frecuencias altas. Resulta, pues, que haciendo girar el mando del potenciómetro P_2 puede variarse a voluntad el volumen sonoro de los tonos más agudos de una grabación.



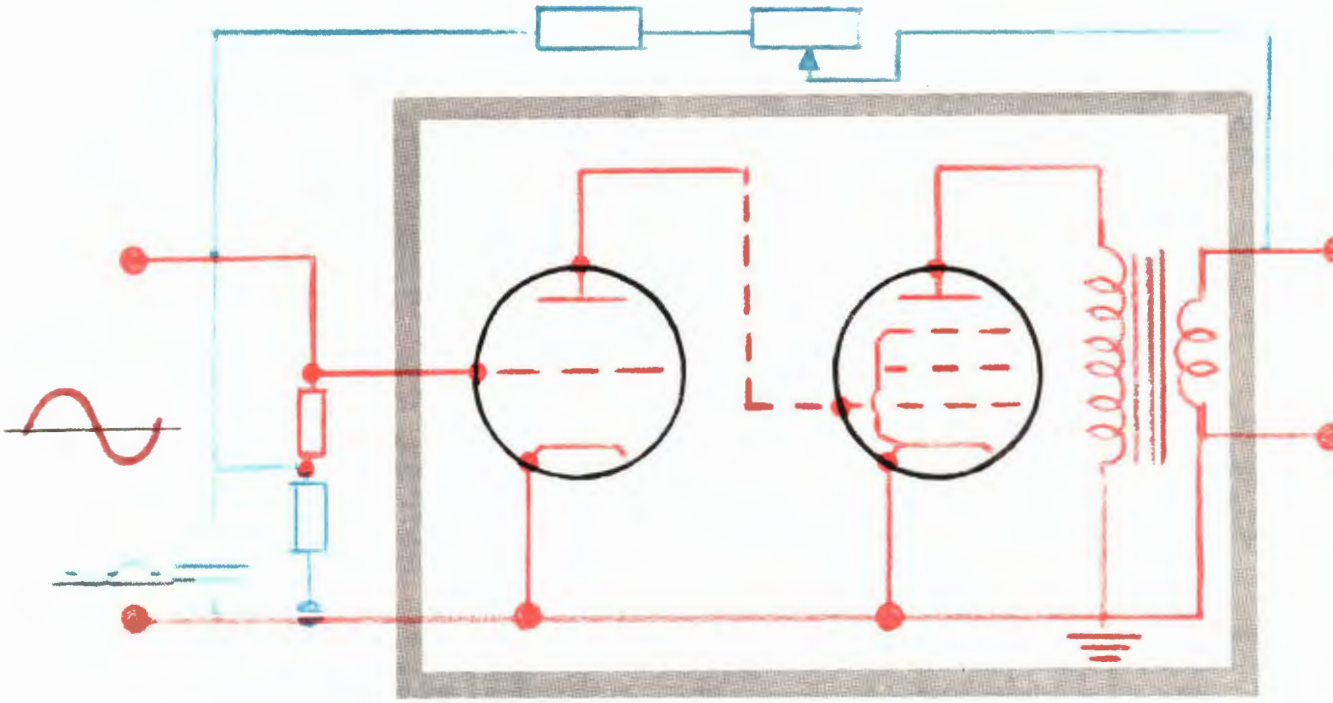
Los tres gráficos, a), b) y c), indican el funcionamiento del control de agudos. En a) el cursor del potenciómetro está en el extremo superior y la amplificación es mínima. En c) el cursor queda situado en el extremo inferior; la amplificación es normal. En b) se ilustra el caso intermedio.

El condensador C_{10} no sólo cumple la misión de seleccionar las frecuencias agudas, sino también la de impedir que la componente continua de placa llegue a la rejilla. Cuando no hay señal la tensión de placa es de unos 250 V; pero cuando la hay esta tensión puede variar casi desde 0 a 500 V a lo largo de la recta de carga. Por ello es conveniente que este condensador sea de muy buena calidad y elevado aislamiento. Lo mejor es elegirlo con dieléctrico de mica.

CONTROL DE GRAVES

El funcionamiento de este control es similar al de agudos. Le sugerimos que antes de proseguir la lectura de este texto trate, a la vista del esquema, de deducir su funcionamiento sin nuestra ayuda, y que prosiguiendo después la lectura compruebe si sus conclusiones son acertadas.

Observe que la última mitad de la ECC82 y el transformador de salida constituyen un amplificador de cuya salida se toma parte de la tensión, que vuelve a aplicarse a la entrada. Esta tensión se aplica a través de P_3, R_{11}, C_7 y R_4, que constituyen el lazo de realimentación.



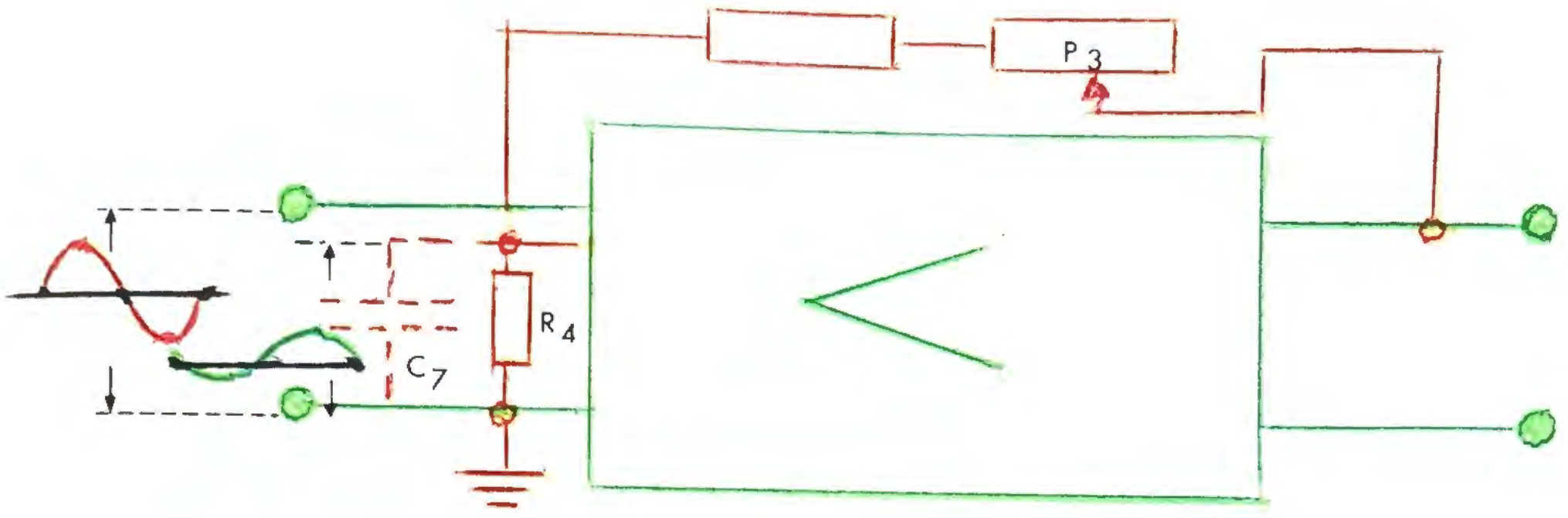
El gráfico ilustra cómo el control de graves trabaja también según el principio de la realimentación negativa.

En los gráficos siguientes se ilustra claramente el hecho de que sólo hay contrarreacción para las frecuencias bajas, ya que las altas se derivan directamente al chasis a través de C_7.

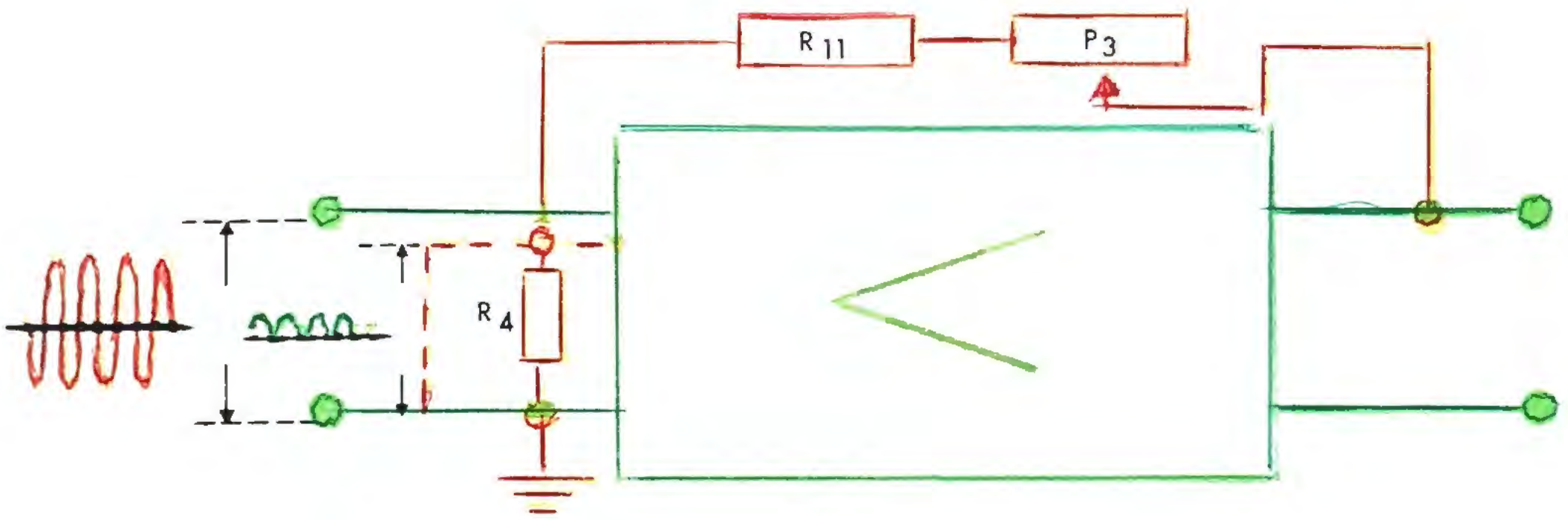
Para las frecuencias bajas, en efecto, el condensador C_7 en paralelo con R_4 presenta una reactancia mucho mayor que la resistencia de R_4; es como si C_7 no existiera — por eso le hemos dibujado punteado —. Una parte de la tensión de la salida se aplica a R_4 a través de R_3 y R_{11} y llega a la rejilla de la ECC82 a través de R_3. El valor de esa tensión depende de la posición del cursor de P_3, y por tanto también la amplificación que experimentan las frecuencias bajas.

Para las frecuencias altas, en cambio, la reactancia de C_7 es muy pequeña comparada con R_4 y representa prácticamente su cortocircuito; de forma que esas frecuencias se derivan directamente a masa sin alcanzar la rejilla de la ECC82.

Resulta de ahí que el cursor de P_3 no influye prácticamente en la amplificación de las notas agudas.



Para las frecuencias bajas la contrarreacción (y por tanto la amplificación) se regula mediante el potenciómetro P_3.

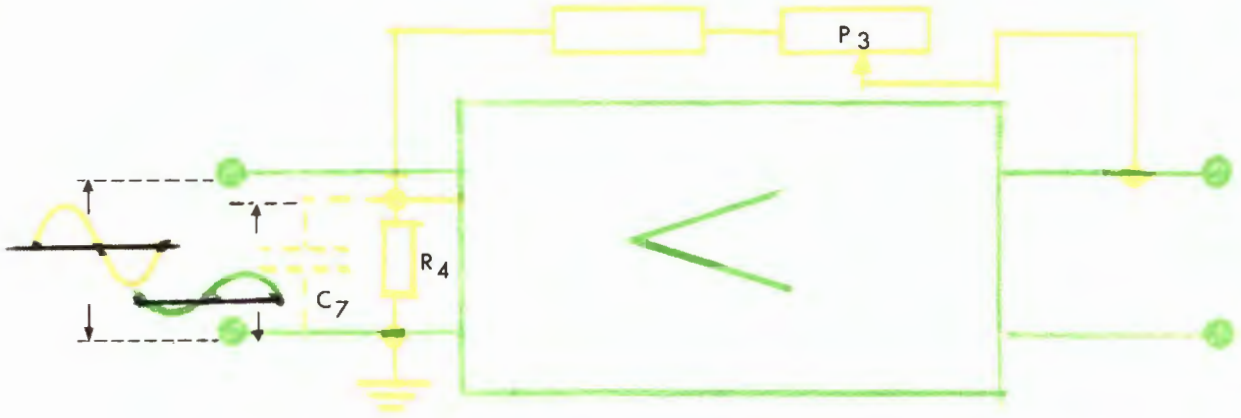


Para las frecuencias altas, el condensador C_7 representa prácticamente un cortocircuito (dibujado punteado), y por consiguiente no hay contrarreacción de la amplificación.

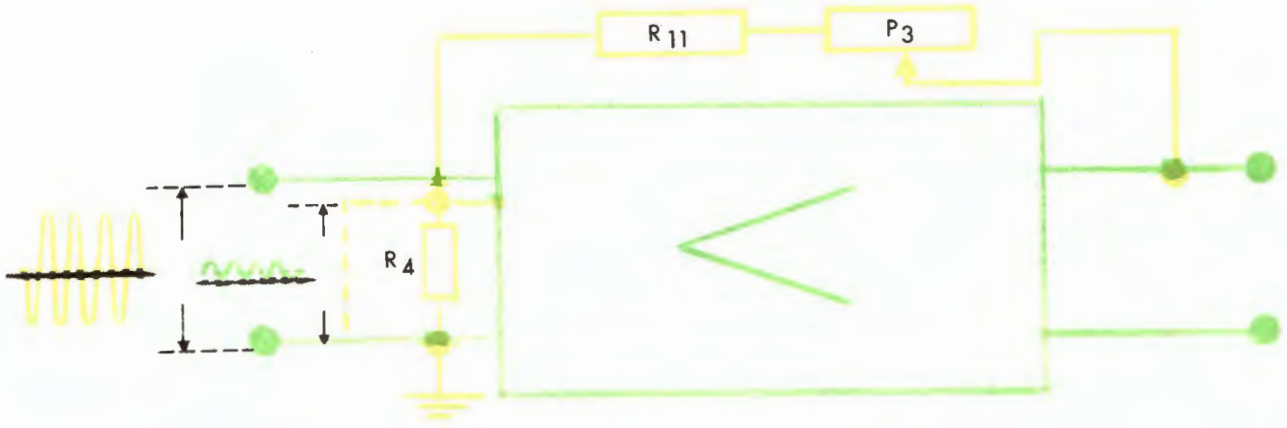
La resistencia R_4 evita que la contrarreacción alcance un valor excesivo.

Es preciso tener en cuenta un detalle interesante acerca del circuito de control de graves.

Hasta el momento hemos supuesto, sin más, que la tensión procedente del secundario del transformador de salida está en oposición de fase con la tensión que aplica el primer triodo a la rejilla del segundo. Pero esto requiere alguna aclaración: la señal aplicada a la rejilla de la segunda mitad de la ECC82 aparece invertida de fase en la placa correspondiente y experimenta una nueva inversión de fase al ser amplificada por la EL84. Resulta, pues, que la tensión en la placa del pentodo está en fase con la que se aplica a la rejilla del triodo. Además, uno de los terminales del secundario del transformador está en fase y el otro en oposición, lo que obliga a elegir este último para conectarlo a la rejilla de la segunda mitad de la ECC82 a través del lazo de realimentación. De hacerlo al revés existiría realimentación positiva y no contrarreacción, con el consiguiente peligro de que el amplificador se convierta en un oscilador. Como en principio es difícil distinguir cuál de los terminales es el conveniente, lo mejor es alambrar el montaje sin preocuparse por el sentido correcto. Una vez puesto en funcionamiento el amplificador, si al girar el potenciómetro P_3 de forma que la realimentación sea máxima se escucha un aullido en el altavoz es señal de que el conjunto está oscilando, lo que indica que la realimentación es positiva. Basta entonces con invertir las conexiones de los terminales del primario o del secundario (indistintamente) para conseguir un funcionamiento correcto.



Para las frecuencias bajas la contrarreacción (y por tanto la amplificación) se regula mediante el potenciómetro P_3.

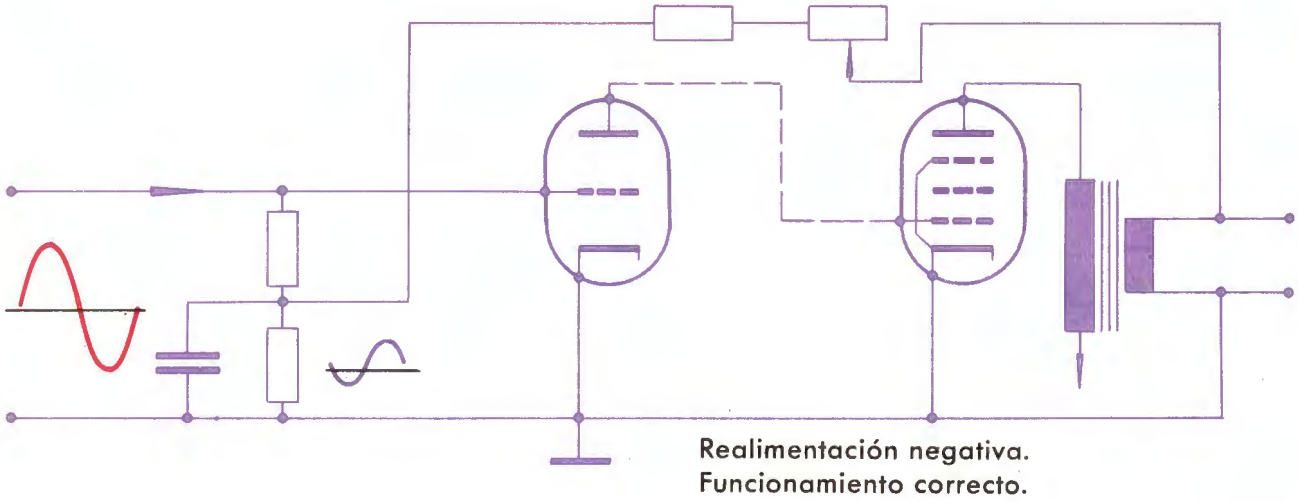


Para las frecuencias altas, el condensador C_7 representa prácticamente un cortocircuito (dibujado punteado), y por consiguiente no hay contrarreacción de la amplificación.

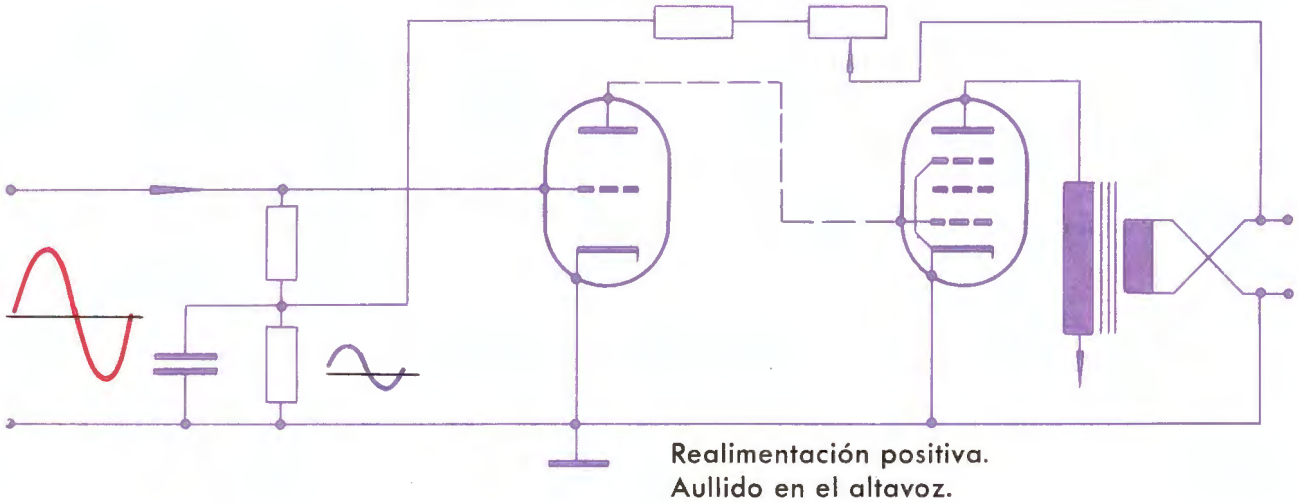
La resistencia R_4 evita que la contrarreacción alcance un valor excesivo.

Es preciso tener en cuenta un detalle interesante acerca del circuito de control de graves.

Hasta el momento hemos supuesto, sin más, que la tensión procedente del secundario del transformador de salida está en oposición de fase con la tensión que aplica el primer triodo a la rejilla del segundo. Pero esto requiere alguna aclaración: la señal aplicada a la rejilla de la segunda mitad de la ECC82 aparece invertida de fase en la placa correspondiente y experimenta una nueva inversión de fase al ser amplificada por la EL84. Resulta, pues, que la tensión en la placa del pentodo está en fase con la que se aplica a la rejilla del triodo. Además, uno de los terminales del secundario del transformador está en fase y el otro en oposición, lo que obliga a elegir este último para conectarlo a la rejilla de la segunda mitad de la ECC82 a través del lazo de realimentación. De hacerlo al revés existiría realimentación positiva y no contrarreacción, con el consiguiente peligro de que el amplificador se convierta en un oscilador. Como en principio es difícil distinguir cuál de los terminales es el conveniente, lo mejor es alambrar el montaje sin preocuparse por el sentido correcto. Una vez puesto en funcionamiento el amplificador, si al girar el potenciómetro P_3 de forma que la realimentación sea máxima se escucha un aullido en el altavoz es señal de que el conjunto está oscilando, lo que indica que la realimentación es positiva. Basta entonces con invertir las conexiones de los terminales del primario o del secundario (indistintamente) para conseguir un funcionamiento correcto.



Realimentación negativa.
Funcionamiento correcto.



Realimentación positiva.
Aullido en el altavoz.

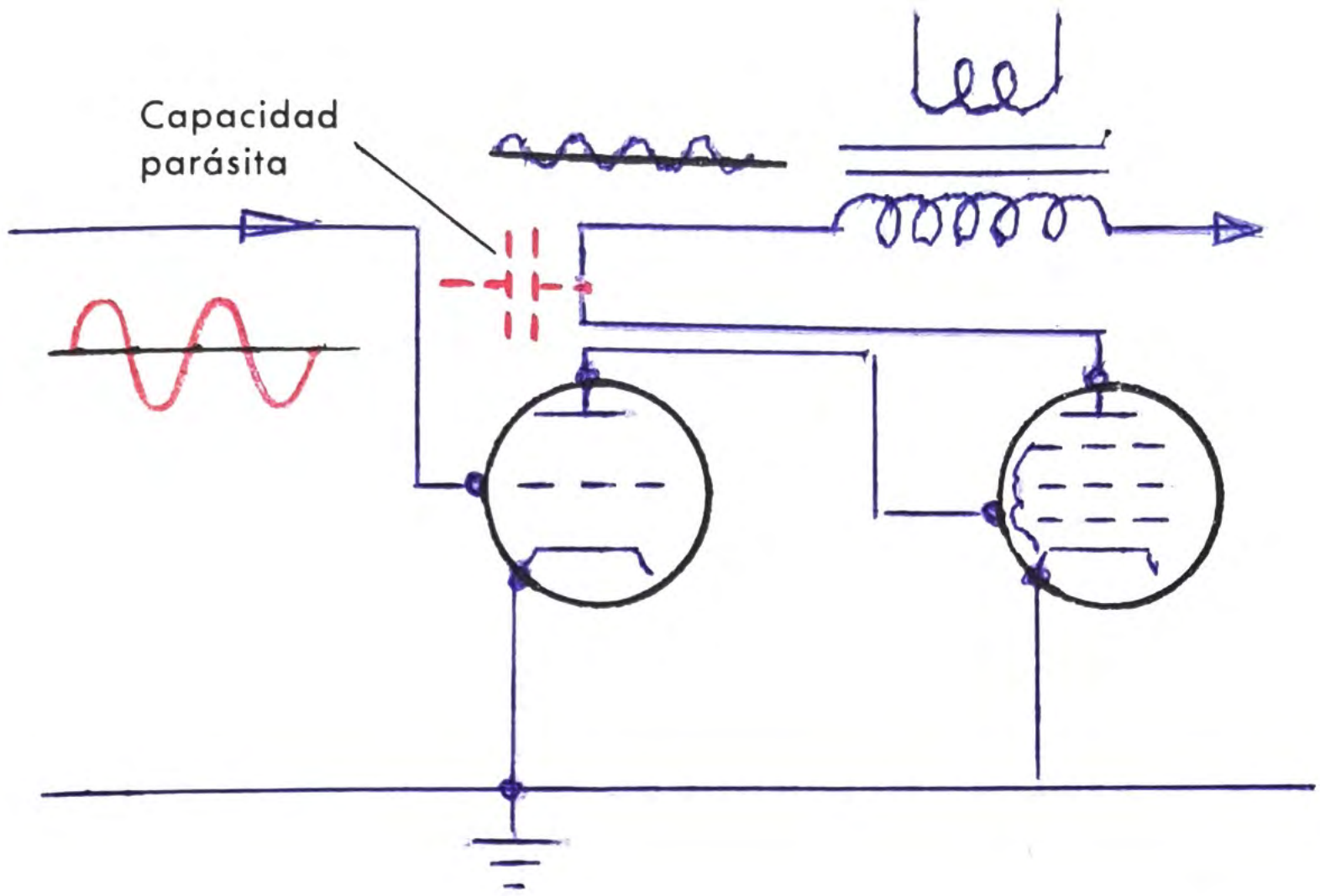
Si el transformador de salida no se conecta correctamente, habrá reacción positiva en lugar de contrarreacción. El montaje será, en realidad, un oscilador.

UN DETALLE FINAL

En el esquema aparece una resistencia R_7 de 10 KΩ cuya función no es evidente. La misión de esa resistencia es hacer el montaje más estable; se dice que un montaje no es estable (recuerde la lección 13) cuando tiene tendencia a oscilar. Acabamos de ver cómo equivocar las conexiones del transformador de salida da lugar a inestabilidad; pero aun habiendo acertado en este punto pueden presentarse oscilaciones.

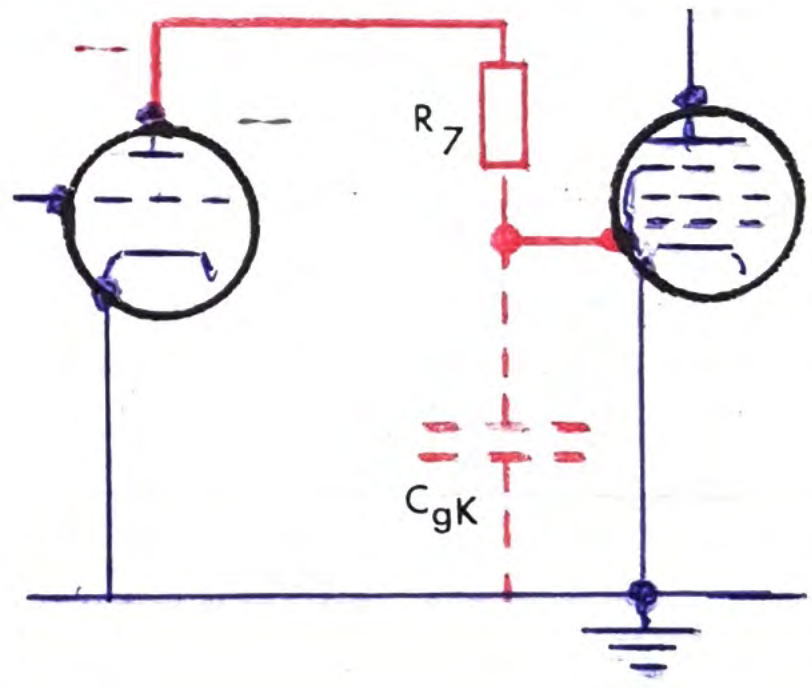
Supongamos, por ejemplo, que por necesidades del alambrado el conductor de placa de la EL84 es largo y pasa muy cerca del conductor de rejilla de la segunda mitad de la ECC82.

Estos conductores forman entre sí una cierta capacidad (dibujada a trazo en la figura) por la cual se transmite parte de la señal de placa de la EL84 a la rejilla del triodo. Según acabamos de decir, en esos electrodos las tensiones están en fase y se produce realimentación positiva, con riesgo de oscilación si el factor de realimentación alcanza un grado suficiente. Por supuesto que, dado el pequeño valor de la capacidad entre los citados conductores, esa oscilación sólo existe para frecuencias bastante altas (de 50 Kc/s a 100 Kc/s), que por no ser audibles tampoco producen sonido alguno en el altavoz. Esta oscilación, pues, no se manifiesta en el altavoz como en el caso anterior. El único síntoma aparente es que el amplificador parece no tener ganancia; las señales que se le aplican son reproducidas muy débilmente y con gran distorsión, cosa del todo indeseable.



La excesiva proximidad entre los conductores de placa y de rejilla puede ser causa de oscilaciones. La posibilidad de que los dos conductores sigan paralelos parece remota en el esquema (observe que para conseguir dicho paralelismo hemos debido forzar mucho la situación del transformador de salida), pero es muy frecuente en el montaje real.

Este tipo de acoplamiento indeseable puede darse, siempre con el mismo resultado, entre otras partes del circuito. Para evitarlo debe alambrarse con cuidado, procurando que los conductores de rejilla y placa de las diversas válvulas sean cortos y se encuentren separados por una distancia prudencial. Con todo, y para mayor seguridad, se añade la resistencia R_7, la cual, junto con la capacidad de rejilla C_{gk} de la EL84, que es relativamente elevada ($C_{gk} = 11$ pF), constituye un divisor de tensión que reduce grandemente la ganancia para las frecuencias altas que podrían motivar la oscilación, ya que C_{gk} es para ellas casi un cortocircuito que impide la oscilación. Este divisor, en cambio, no tiene efectos sensibles para las frecuencias comprendidas en la gama de audio.

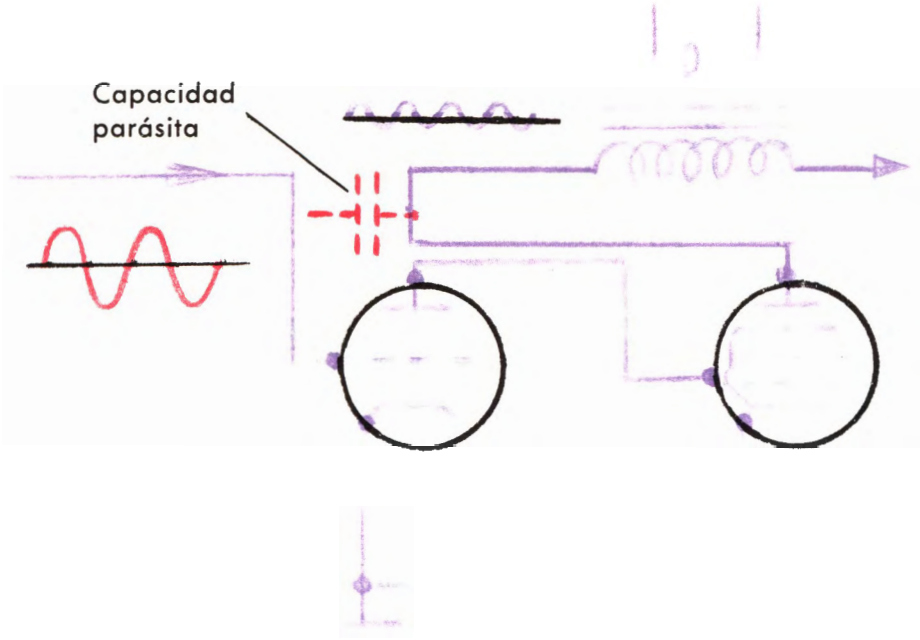


R_7 y C_{gk} forman un divisor de tensión que reduce muchísimo la ganancia del paso amplificador para los ultrasonidos.

EL POTENCIOMETRO DE VOLUMEN

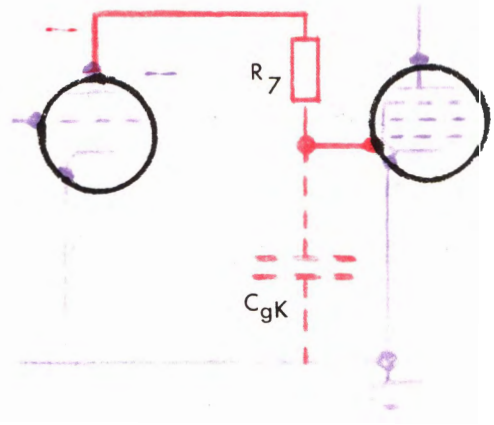
La misión del potenciómetro P es evidente: regula el nivel de la señal que se aplica al amplificador, y por tanto el volumen sonoro producido por el altavoz. Pero, con toda seguridad, hay un detalle que le intriga: al valor de este potenció metro se ha añadido la indicación -log-, abreviación de *logarítmico*. En cambio, la indicación correspondiente a P_2 y P_3 es -lin-, abreviación de *lineal*.

Cuando un potenciómetro lleva la indicación de que es lineal quiere decirse que la resistencia entre el cursor y uno de los extremos varía proporcionalmente al ángulo que describe el cursor. Es decir: si en un potenciómetro lineal se da el



La excesiva proximidad entre los conductores de placa y de rejilla puede ser causa de oscilaciones. La posibilidad de que los dos conductores sigan paralelos parece remota en el esquema (observe que para conseguir dicho paralelismo hemos debido forzar mucho la situación del transformador de salida), pero es muy frecuente en el montaje real.

Este tipo de acoplamiento indeseable puede darse, siempre con el mismo resultado, entre otras partes del circuito. Para evitarlo debe alambrarse con cuidado, procurando que los conductores de rejilla y placa de las diversas válvulas sean cortos y se encuentren separados por una distancia prudencial. Con todo, y para mayor seguridad, se añade la resistencia R_7, la cual, junto con la capacidad de rejilla C_{gk} de la EL84, que es relativamente elevada (C_{gk} = 11 pF), constituye un divisor de tensión que reduce grandemente la ganancia para las frecuencias altas que podrían motivar la oscilación, ya que C_{gk} es para ellas casi un cortocircuito que impide la oscilación. Este divisor, en cambio, no tiene efectos sensibles para las frecuencias comprendidas en la gama de audio.



R_7 y C_{gk} forman un divisor de tensión que reduce muchísimo la ganancia del paso amplificador para los ultrasonidos.

EL POTENCIOMETRO DE VOLUMEN

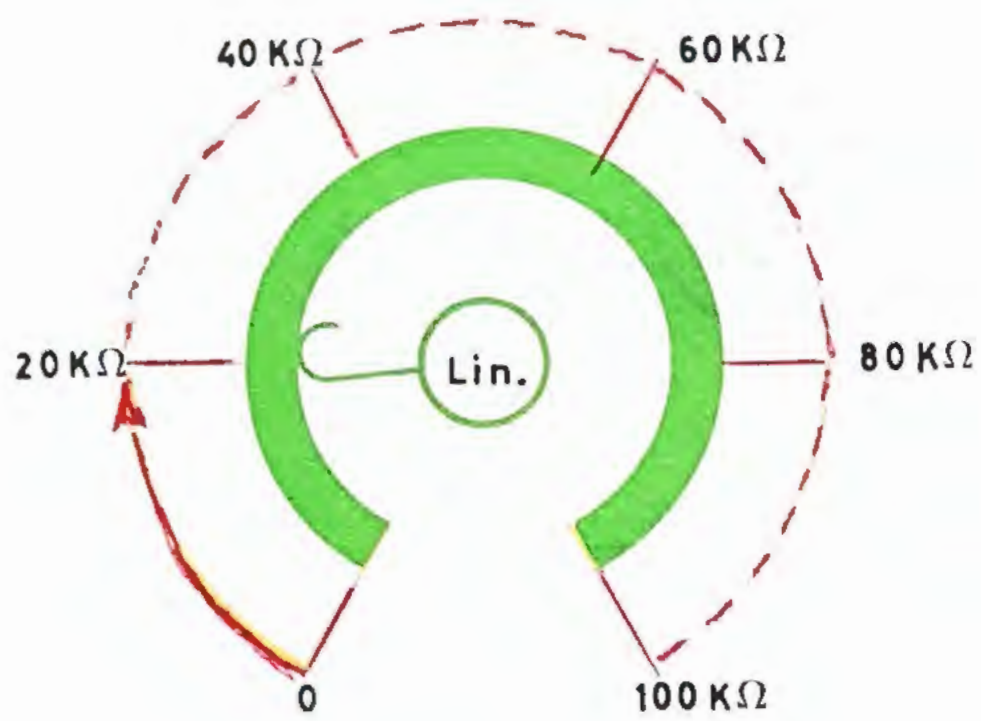
La misión del potenciómetro P es evidente: regula el nivel de la señal que se aplica al amplificador, y por tanto el volumen sonoro producido por el altavoz. Pero, con toda seguridad, hay un detalle que le intriga: al valor de este potenció metro se ha añadido la indicación -log-, abreviación de *logarítmico*. En cambio, la indicación correspondiente a P_2 y P_3 es -lin-, abreviación de *lineal*.

Cuando un potenciómetro lleva la indicación de que es lineal quiere decirse que la resistencia entre el cursor y uno de los extremos varía proporcionalmente al ángulo que describe el cursor. Es decir: si en un potenciómetro lineal se da el

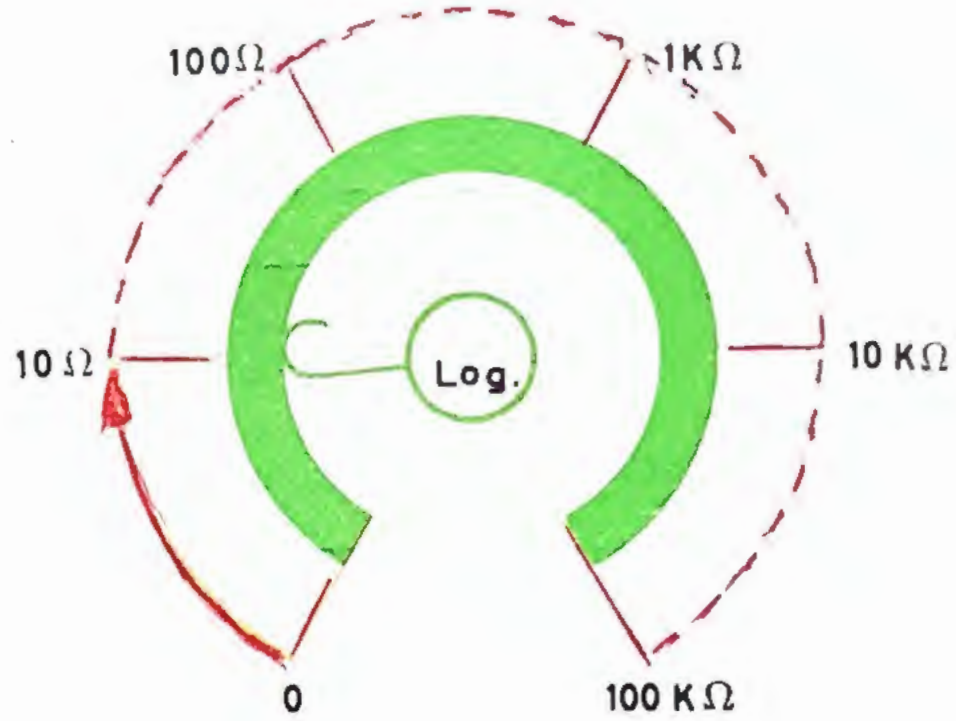
caso de que al girar su eje un grado la resistencia varía en 10 Ω, girando dos grados variará en 20 Ω..., etc., se trata de lo que llamaríamos un potenciómetro *normal*.

Por lo contrario, en los potenciómetros logarítmicos la resistencia varía según la escala logarítmica mencionada en la lección anterior. Es decir: si al girar un grado el eje, la resistencia varía en 10 Ω, al girarlo en 2 grados la resistencia varía en 100 Ω..., etc.

Las figuras indican cómo está distribuida la resistencia sobre la pista de dos potenciómetros, uno lineal y otro logarítmico, cuando el valor total de ambos es 100 KΩ.

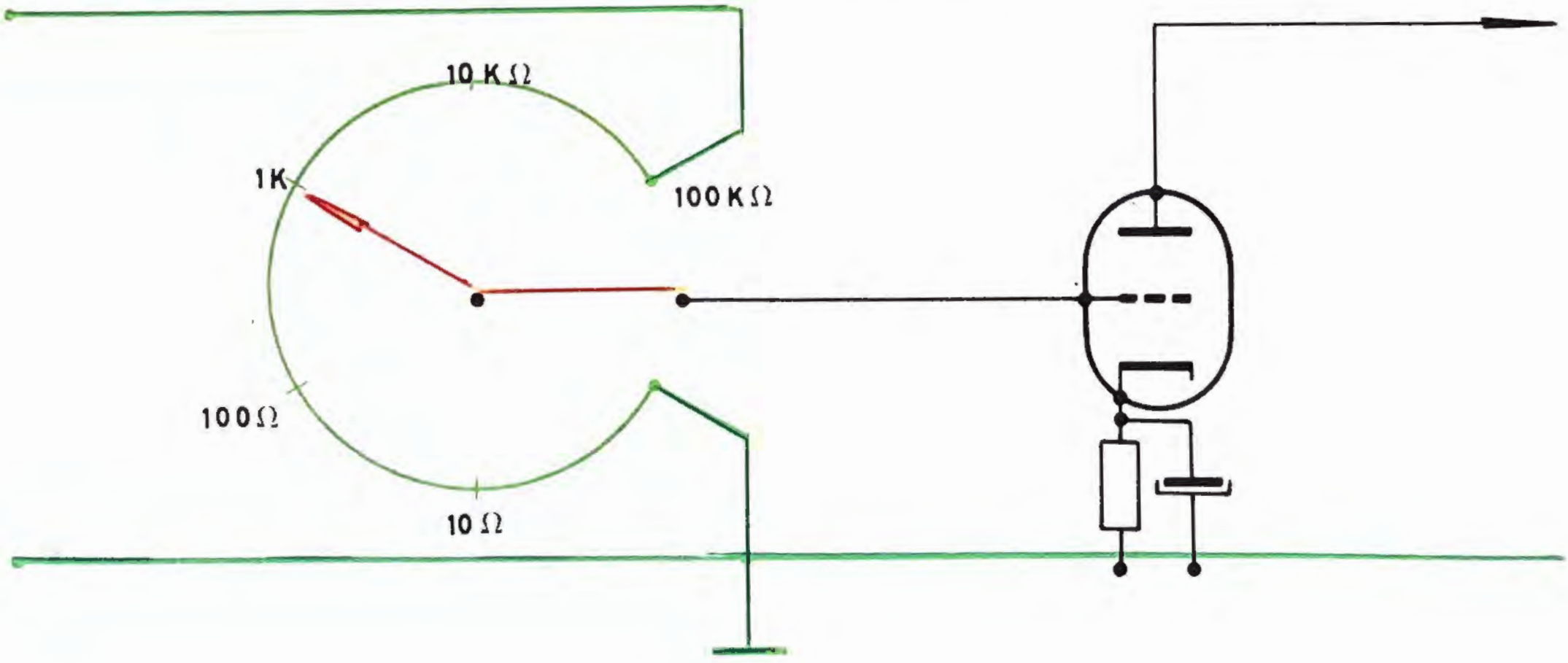


La resistencia de un potenciómetro lineal varía proporcionalmente con el ángulo barrido por el cursor.



La resistencia en los potenciómetros logarítmicos varía según la escala logarítmica.

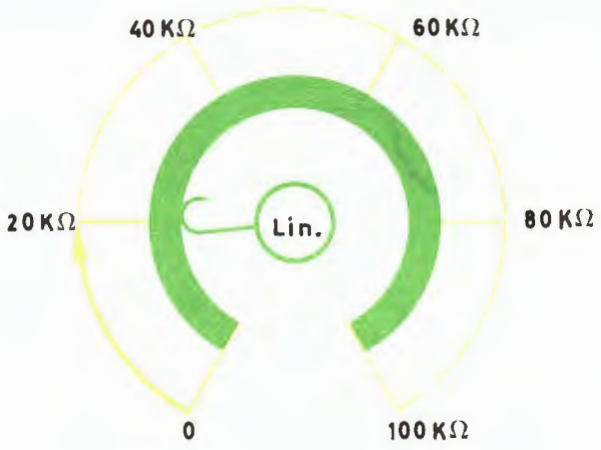
La necesidad de utilizar potenciómetros logarítmicos para el control de volumen proviene de la propiedad que tiene el oído de hacerse menos sensible a medida que aumenta la intensidad de los sonidos percibidos, siguiendo precisamente una ley de tipo logarítmico. En los mencionados potenciómetros se consigue que cuando el volumen sonoro es pequeño (cursor hacia la izquierda), y por consiguiente la sensibilidad del oído es grande, el nivel de la señal aplicada puede controlarse con gran precisión, ya que una amplia variación del mando corresponde a una variación muy pequeña de la resistencia. En cambio, cuando los sonidos son intensos (cursor a la derecha) sólo es posible tener la sensación de que el volumen aumenta si la señal aumenta en mucha mayor proporción; por esta razón la resistencia varía con gran rapidez en esta zona.



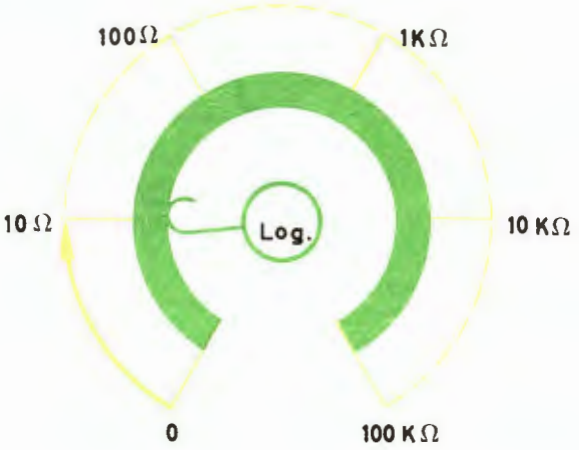
caso de que al girar su eje un grado la resistencia varía en 10 Ω, girando dos grados variará en 20 Ω..., etc., se trata de lo que llamaríamos un potenciómetro *normal*.

Por lo contrario, en los potenciómetros logarítmicos la resistencia varía según la escala logarítmica mencionada en la lección anterior. Es decir: si al girar un grado el eje, la resistencia varía en 10 Ω, al girarlo en 2 grados la resistencia varía en 100 Ω..., etc.

Las figuras indican cómo está distribuida la resistencia sobre la pista de dos potenciómetros, uno lineal y otro logarítmico, cuando el valor total de ambos es 100 KΩ.

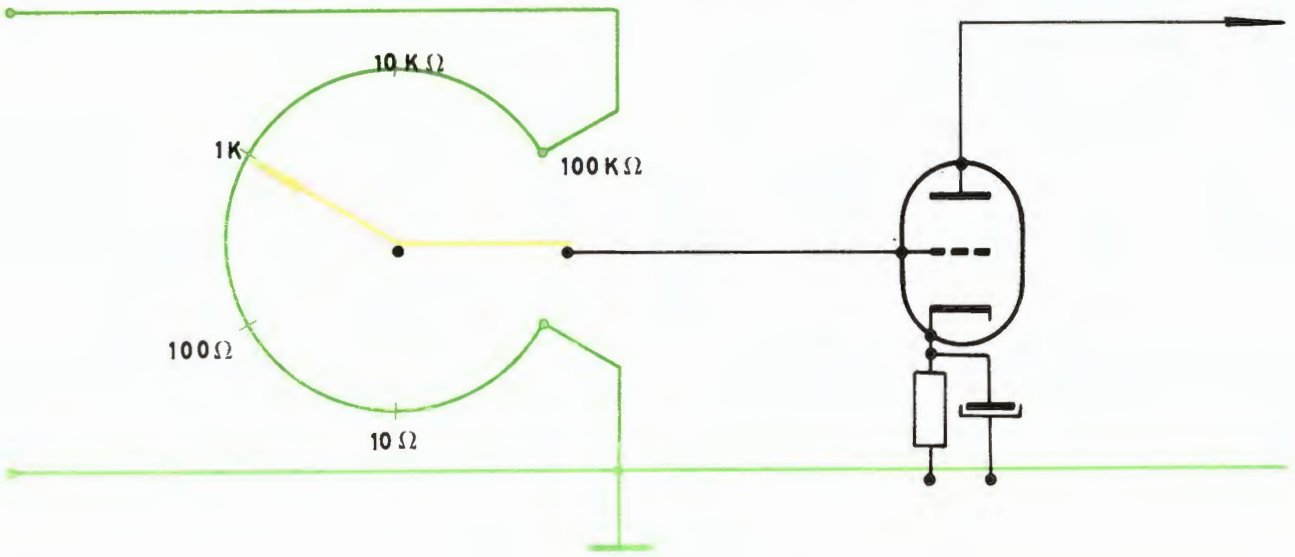


La resistencia de un potenciómetro lineal varía proporcionalmente con el ángulo barrido por el cursor.

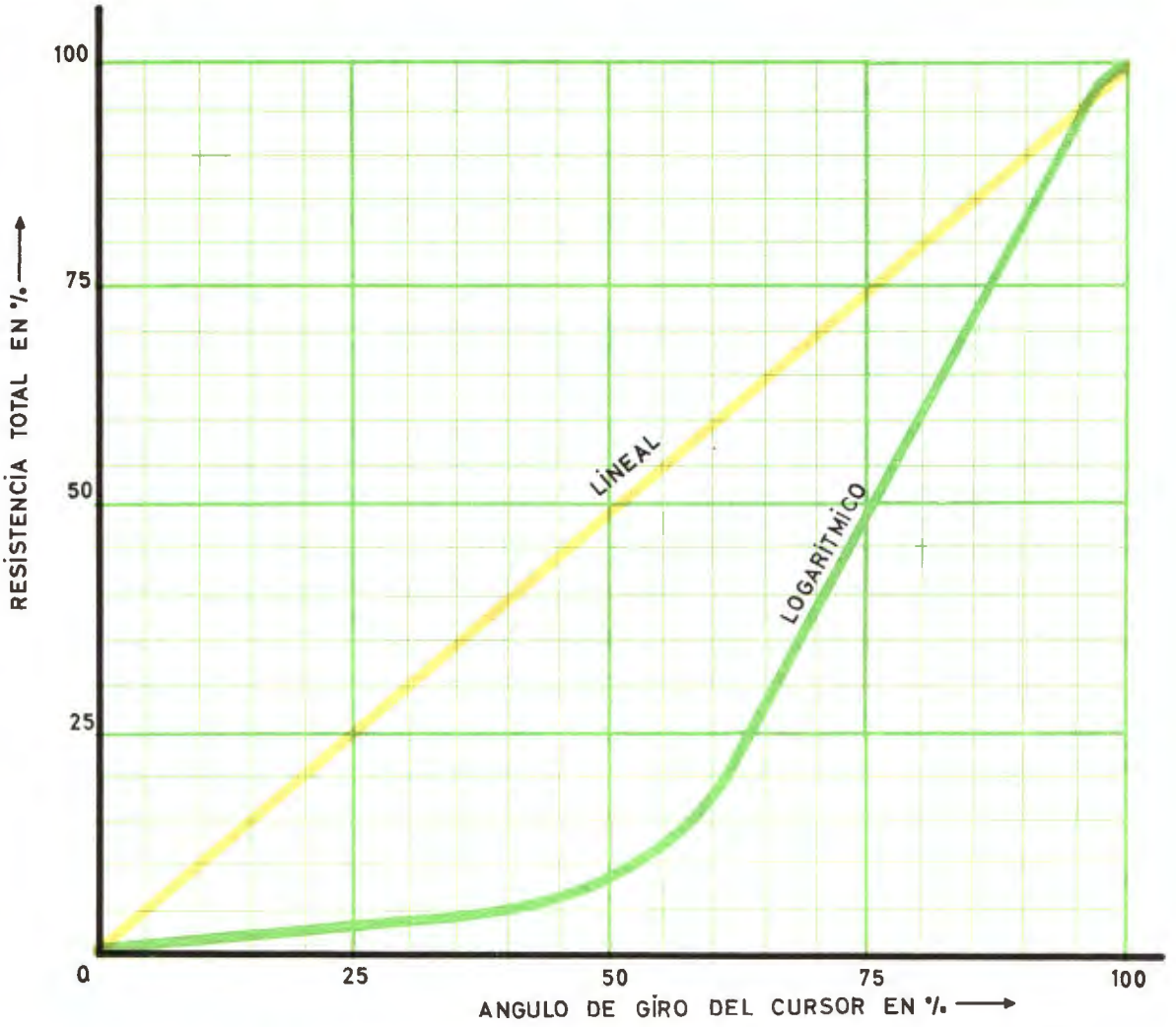


La resistencia en los potenciómetros logarítmicos varía según la escala logarítmica.

La necesidad de utilizar potenciómetros logarítmicos para el control de volumen proviene de la propiedad que tiene el oído de hacerse menos sensible a medida que aumenta la intensidad de los sonidos percibidos, siguiendo precisamente una ley de tipo logarítmico. En los mencionados potenciómetros se consigue que cuando el volumen sonoro es pequeño (cursor hacia la izquierda), y por consiguiente la sensibilidad del oído es grande, el nivel de la señal aplicada puede controlarse con gran precisión, ya que una amplia variación del mando corresponde a una variación muy pequeña de la resistencia. En cambio, cuando los sonidos son intensos (cursor a la derecha) sólo es posible tener la sensación de que el volumen aumenta si la señal aumenta en mucha mayor proporción; por esta razón la resistencia varía con gran rapidez en esta zona.



A decir verdad, una serie de detalles, en cuya consideración no entraremos por ser impropios del nivel de esta obra, hacen que la variación de la resistencia sobre la pista de los potenciómetros logarítmicos difiera en cierto grado de la que hemos indicado en la figura. En el gráfico siguiente se indica la variación que experimenta la resistencia, en los potenciómetros comerciales, en función del ángulo girado por el eje de mando que arrastra el cursor.



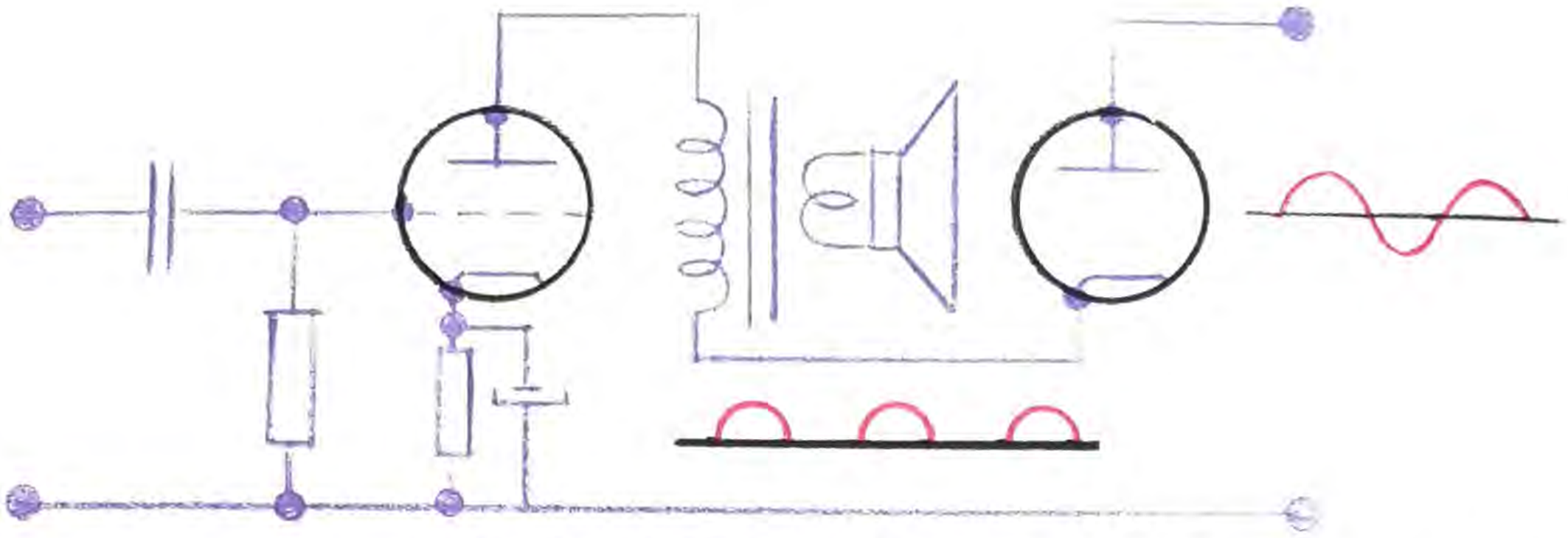
Variación de la resistencia en función del ángulo cubierto por el cursor en potenciómetros lineales y logarítmicos.

MEJORAS EN EL FILTRADO DE LA CORRIENTE RECTIFICADA

Supongamos que alimentamos sin filtrado previo un amplificador de una sola válvula con la corriente procedente de un rectificador.

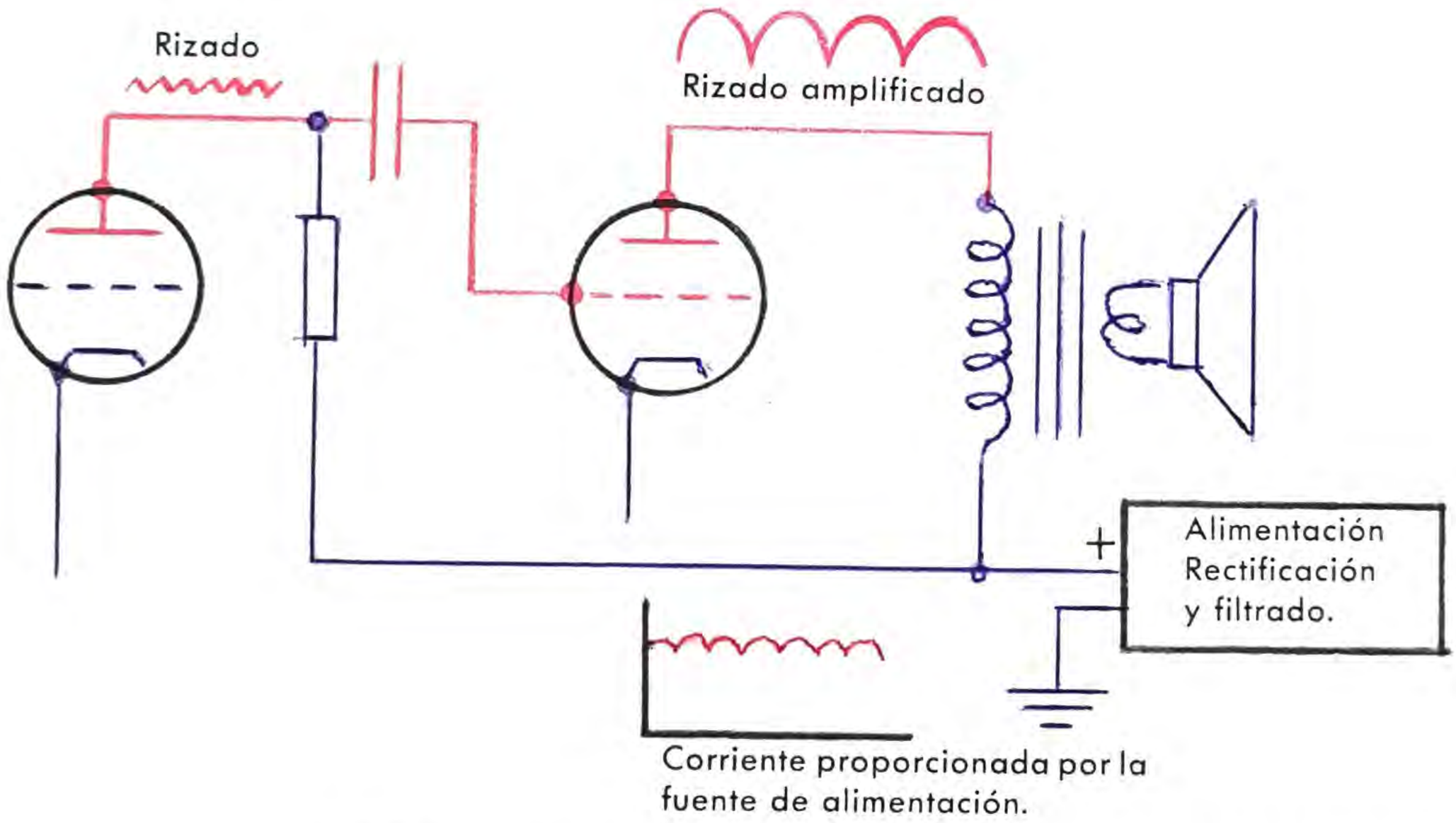
Esa corriente es variable; y puesto que atraviesa el transformador de salida provoca en el altavoz un fuerte ronquido, cuya frecuencia es de 50 c/s en los rectificadores es de media onda o de 100 c/s en los de onda completa. Ese ronquido se mezcla con las señales amplificadas por la válvula y hace que su audición sea prácticamente imposible.

En cambio, si añadimos un filtro igual al que se estudió en la lección 9, el resultado es también el que allí puede verse: la tensión se mantiene casi constante, la corriente apenas varía y, en consecuencia, desaparece el ronquido. Más exacto: desaparece siempre que el amplificador sea de un solo paso, puesto que si está constituido por dos o más pasos es preciso contar con el hecho de que la corriente de alimentación es sólo *casi constante* y no rigurosamente constante, como sería de desear.



Alimentando un amplificador con una corriente rectificada sin filtraje, el transformador de salida queda atravesado por una corriente variable que provoca un fuerte zumbido en el altavoz.

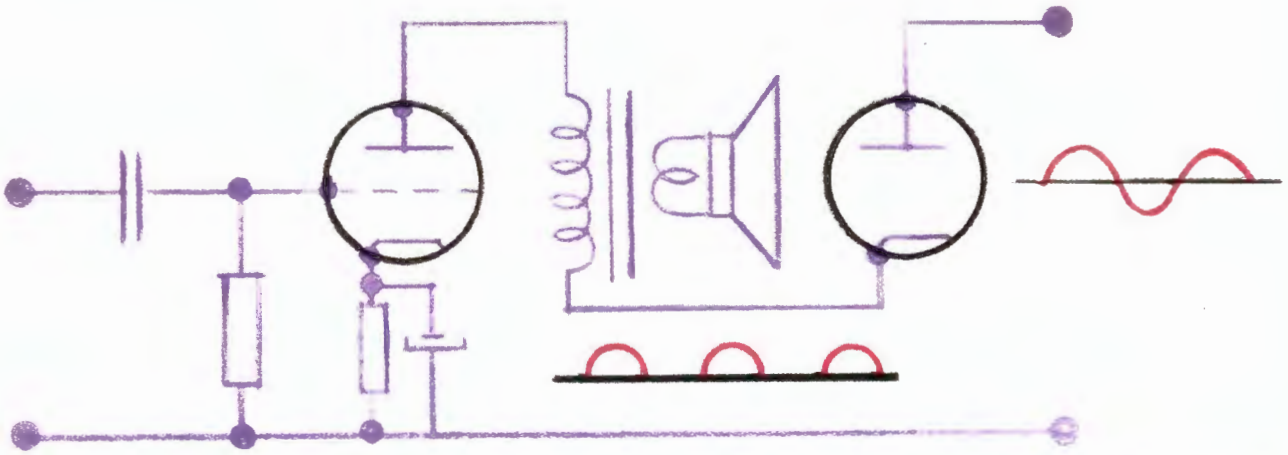
Esta corriente tiene cierta ondulación o, como suele decirse, presenta cierto *rizado*. De ahí resulta que en la tensión de placa del primer paso también está presente ese rizado; y como dicha placa está conectada a la rejilla del paso siguiente, el rizado se amplifica por éste y puede ocurrir que su valor sea suficiente para que se manifieste en el altavoz.



El rizado presente en la placa del primer triodo aparece amplificado a la salida de la segunda etapa amplificadora.

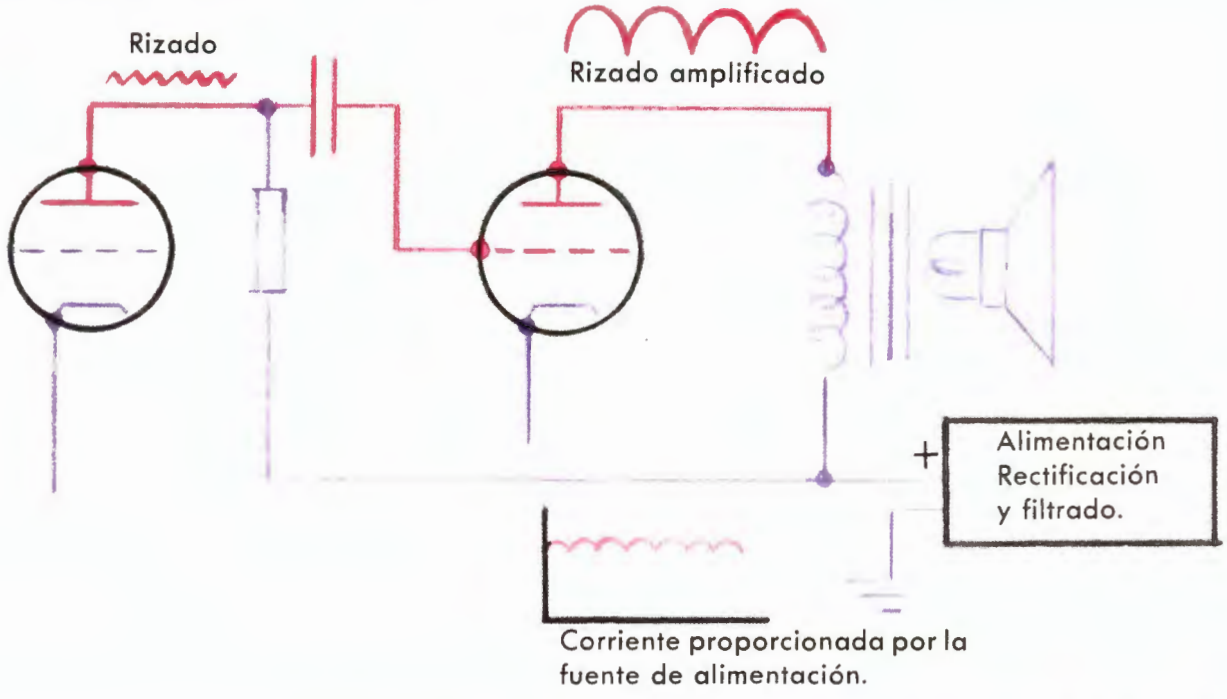
La solución al problema que representa la presencia del rizado en la placa del primer paso consiste en añadir una nueva célula de filtrado que lo reduzca en la corriente que debe alimentar el primer paso. Esta reducción, por lo menos, debe eliminar el valor de la amplificación que dicho rizado habían de sufrir en el segundo paso.

Evidentemente, cuanto mayor sea el número de pasos de un amplificador mayores son las exigencias en cuanto a la calidad del filtrado. Analice ahora cómo hemos resuelto el problema en nuestro amplificador.



Alimentando un amplificador con una corriente rectificada sin filtraje, el transformador de salida queda atravesado por una corriente variable que provoca un fuerte zumbido en el altavoz.

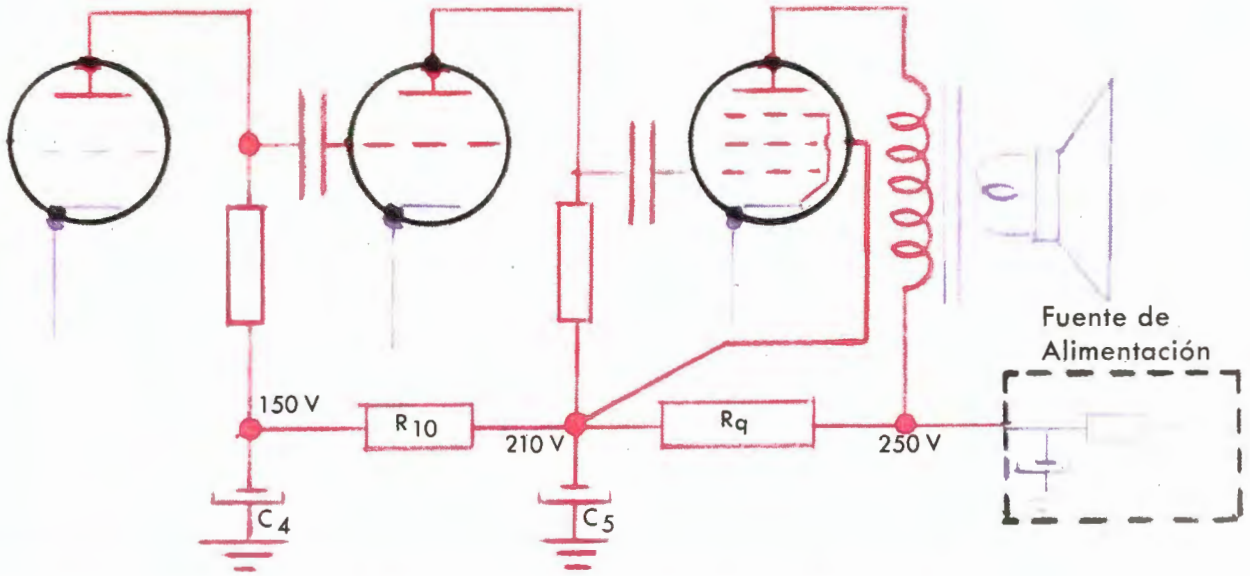
Esta corriente tiene cierta ondulación o, como suele decirse, presenta cierto *rizado*. De ahí resulta que en la tensión de placa del primer paso también está presente ese rizado; y como dicha placa está conectada a la rejilla del paso siguiente, el rizado se amplifica por éste y puede ocurrir que su valor sea suficiente para que se manifieste en el altavoz.



El rizado presente en la placa del primer triodo aparece amplificado a la salida de la segunda etapa amplificadora.

La solución al problema que representa la presencia del rizado en la placa del primer paso consiste en añadir una nueva célula de filtrado que lo reduzca en la corriente que debe alimentar el primer paso. Esta reducción, por lo menos, debe eliminar el valor de la amplificación que dicho rizado habían de sufrir en el segundo paso.

Evidentemente, cuanto mayor sea el número de pasos de un amplificador mayores son las exigencias en cuanto a la calidad del filtrado. Analice ahora cómo hemos resuelto el problema en nuestro amplificador.



Solución al problema del filtrado en un amplificador de tres etapas. R_9 y C_5 filtran la tensión que alimenta el segundo paso. R_{10} y C_4 la filtran de nuevo antes de alimentar el primer paso.

En el esquema se advierte que R_9 y C_5 filtran la tensión que ha de alimentar el segundo paso; R_{10} y C_4 la filtran nuevamente antes de alimentar el primero.

Una mejora adicional se consigue conectando la pantalla de la EL84 al condensador C_5, ya que con ello la tensión de este electrodo es mucho más constante; y dado que es precisamente él quien influye en mayor grado en la corriente que atraviesa el pentodo (mucho más que la placa), esta nueva precaución que comentamos representa una reducción más del zumbido.

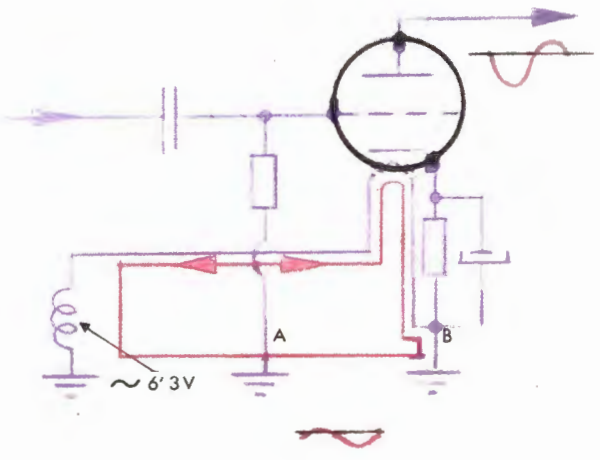
La tensión de pantalla queda, sin embargo, reducida con ello a 210 V; y por tanto la impedancia de carga adecuada será ahora de 7000 Ω. La potencia límite teórica que puede proporcionar la EL84 en estas condiciones es de 4'5 W en lugar de 6 W, potencia más que suficiente en la mayoría de los casos. Más potencia es innecesaria en habitaciones normales.

CONSIDERACIONES FINALES

En el último párrafo han quedado aclaradas todas las particularidades teóricas del montaje que venimos analizando. Sin embargo, quedan algunos detalles que no aparecen en el esquema y que conviene tener en cuenta.

1. NO DEBE UTILIZARSE EL CHASIS COMO LÍNEA DE RETORNO PARA LA CORRIENTE DE FILAMENTOS.

La razón es la siguiente: esa corriente es de elevado valor. Si le hacemos recorrer una porción del chasis, pese a que su resistencia es pequeñísima, aparece en él (en virtud de la ley de Ohm)



No debe utilizarse el chasis como línea de retorno de los filamentos. Dada la gran intensidad de esta corriente, aparece una ligera d.d.p. alterna entre los puntos A y B; y dado que la porción de chasis comprendida entre A y B forma parte del circuito de rejilla, esta d.d.p. aparecería amplificada en la placa.

una pequeña diferencia de potencial alterna de frecuencia = 50 c/s que puede quedar aplicada entre rejilla y cátodo de alguno de los pasos amplificadores. Esta d.d.p. aparecerá en el paso final con una amplitud mucho mayor representando otra causa de zumbido en el altavoz.

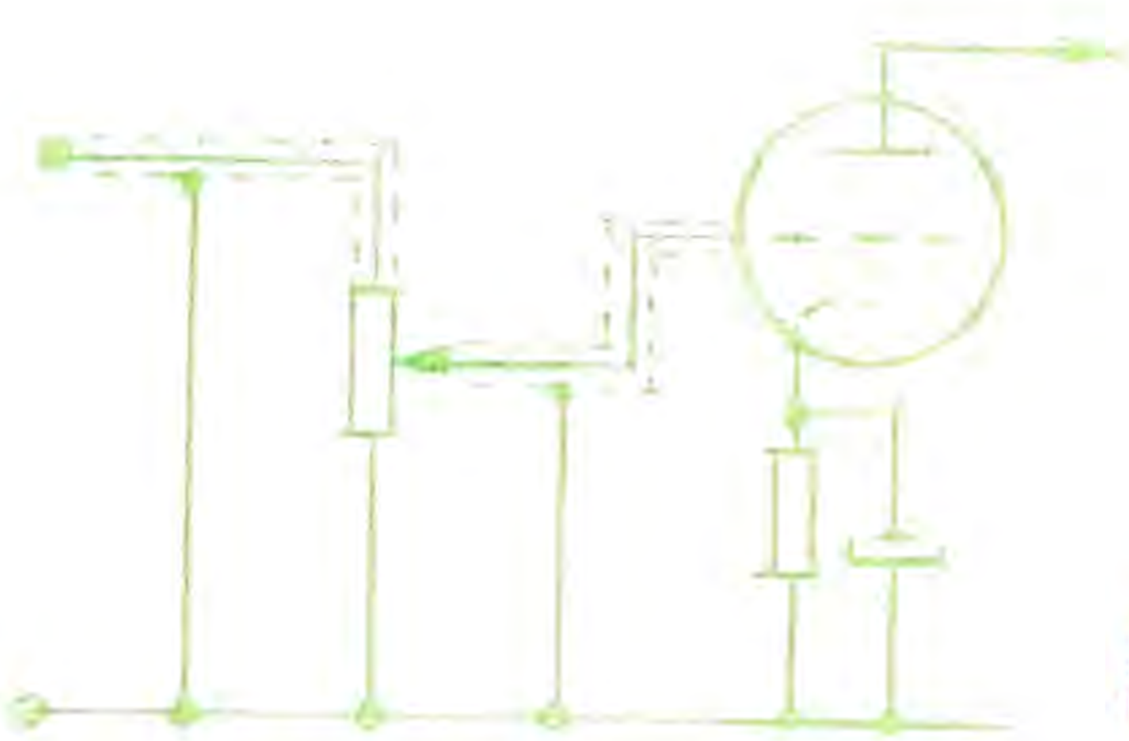
2. Se empleará (por lo dicho antes) una línea doble para alimentar los filamentos; pero, a pesar de ello, ESA LÍNEA ESTARÁ CONECTADA AL CHASIS EN UN PUNTO.

La razón de que esta conexión al chasis sea necesaria es que, por estar el devanado de 6'3 V sometido a un fuerte campo electromagnético en el seno del transformador, suele aparecer en la línea en conjunto una d.d.p. variable respecto al chasis que puede transmitirse por capacidad al cátodo, ya que en definitiva cátodo y filamento forman un pequeño condensador. Quede bien claro que no se trata aquí de la d.d.p. de 6'3 V que aparece en los extremos del secundario, sino la que aparece en el secundario, en conjunto, por el hecho de ser un conductor inmerso en un campo electromagnético, tal como ocurre, por ejemplo, con una antena. Esa d.d.p. queda anulada en cuanto se pone la línea en contacto con el chasis, ya que queda cortocircuitada.

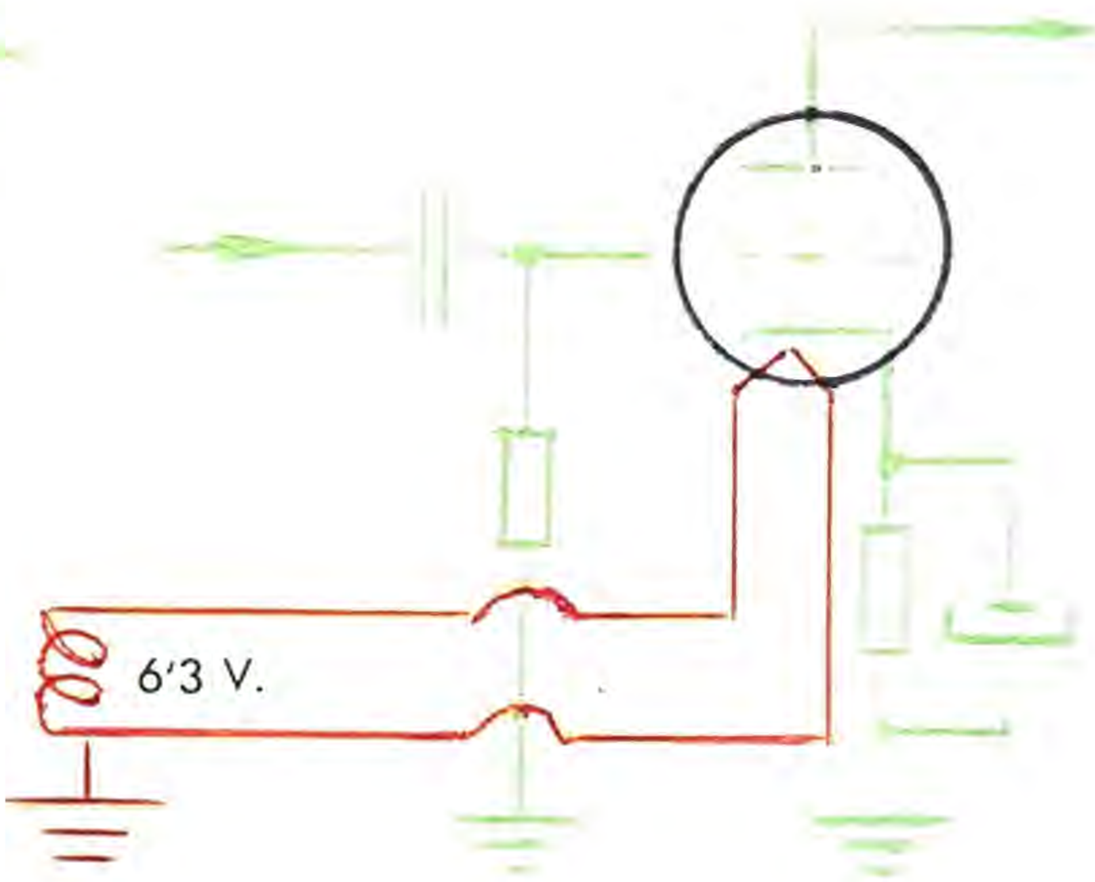
3. Por la misma razón apuntada, LOS CONDUCTORES DE REJILLA DE LAS VÁLVULAS PUEDEN ACTUAR COMO PEQUEÑAS ANTENAS que captan multitud de señales indeseables, ya que están inmersos en el seno de gran variedad de campos electromagnéticos parásitos.

Es evidente que la solución no consiste aquí en conectar esos conductores al chasis; cortocircuitaríamos también la señal que queremos amplificar.

La solución consiste en UTILIZAR CABLE BLINDADO (lec. 4, pág. 122). Como conductor de rejilla se utiliza el alma interior; la malla metálica, en la que se inducen esas tensiones parásitas, se conecta al chasis, quedando así cortocircuitadas y por tanto sin efectos nocivos.



Esta es la forma correcta de conectar los filamentos.



Para los conductores de rejilla del primer paso se utilizará cable blindado.

En general no es preciso utilizar este cable más que en el primer paso amplificador, y sobre todo para unir el tocadiscos al amplificador. En los otros pasos lo utilizaremos siempre que las particularidades del montaje nos fuercen a dejar muy largas las conexiones del rejilla.

Este amplificador puede montarse en un chasis muy pequeño, sobre todo si se utiliza un rectificador de selenio en lugar de una válvula EZ81; puede incluirse en una pequeña maleta en cuya tapa se coloca el altavoz. Lo veremos ahora mismo en el capítulo de PRÁCTICAS.

una pequeña diferencia de potencial alterna de frecuencia = 50 c/s que puede quedar aplicada entre rejilla y cátodo de alguno de los pasos amplificadores. Esta d.d.p. aparecerá en el paso final con una amplitud mucho mayor representando otra causa de zumbido en el altavoz.

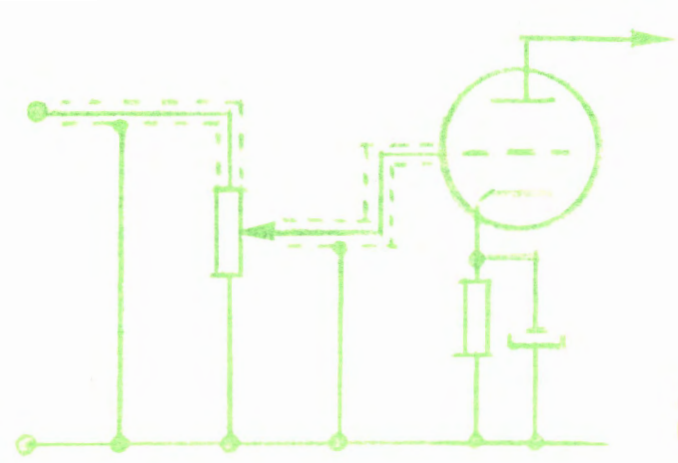
2. Se empleará (por lo dicho antes) una línea doble para alimentar los filamentos; pero, a pesar de ello, ESA LÍNEA ESTARÁ CONECTADA AL CHASIS EN UN PUNTO.

La razón de que esta conexión al chasis sea necesaria es que, por estar el devanado de 6'3 V sometido a un fuerte campo electromagnético en el seno del transformador, suele aparecer en la línea en conjunto una d.d.p. variable respecto al chasis que puede transmitirse por capacidad al cátodo, ya que en definitiva cátodo y filamento forman un pequeño condensador. Quede bien claro que no se trata aquí de la d.d.p. de 6'3 V que aparece en los extremos del secundario, sino la que aparece en el secundario, en conjunto, por el hecho de ser un conductor inmerso en un campo electromagnético, tal como ocurre, por ejemplo, con una antena. Esa d.d.p. queda anulada en cuanto se pone la línea en contacto con el chasis, ya que queda cortocircuitada.

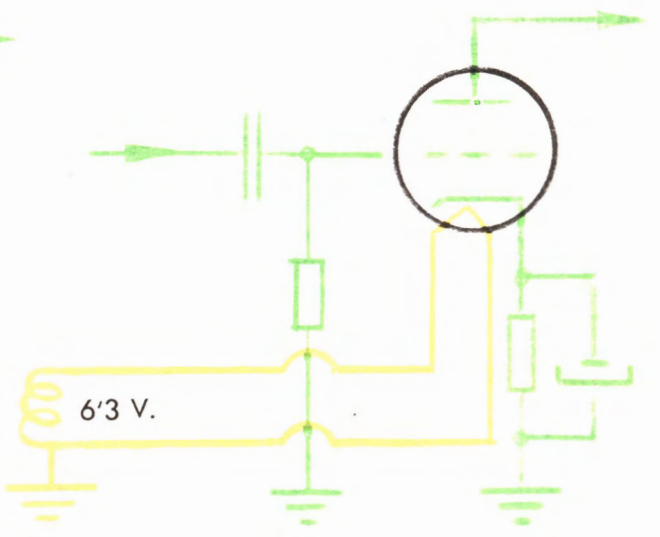
3. Por la misma razón apuntada, LOS CONDUCTORES DE REJILLA DE LAS VÁLVULAS PUEDEN ACTUAR COMO PEQUEÑAS ANTENAS que captan multitud de señales indeseables, ya que están inmersos en el seno de gran variedad de campos electromagnéticos parásitos.

Es evidente que la solución no consiste aquí en conectar esos conductores al chasis; cortocircuitaríamos también la señal que queremos amplificar.

La solución consiste en UTILIZAR CABLE BLINDADO (lec. 4, pág. 122). Como conductor de rejilla se utiliza el alma interior; la malla metálica, en la que se inducen esas tensiones parásitas, se conecta al chasis, quedando así cortocircuitadas y por tanto sin efectos nocivos.



Esta es la forma correcta de conectar los filamentos.

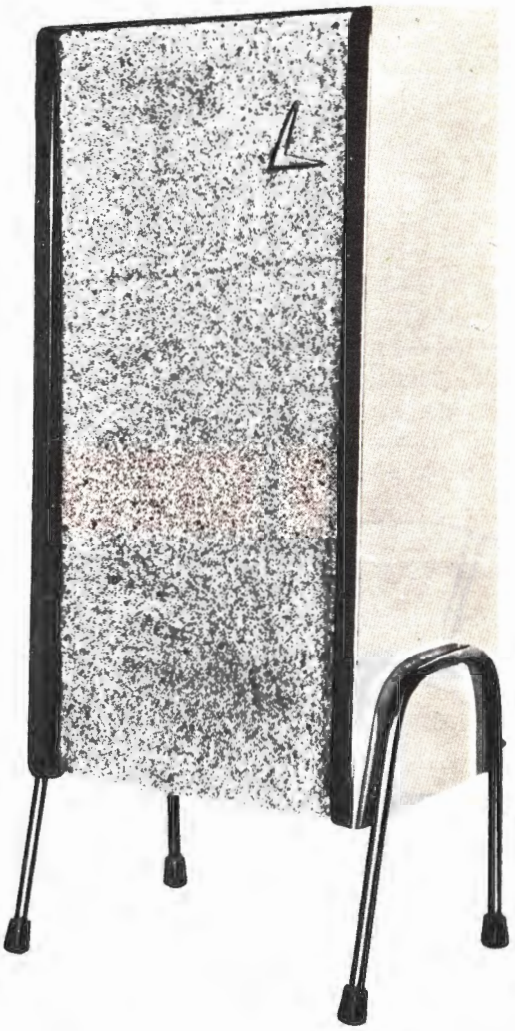


Para los conductores de rejilla del primer paso se utilizará cable blindado.

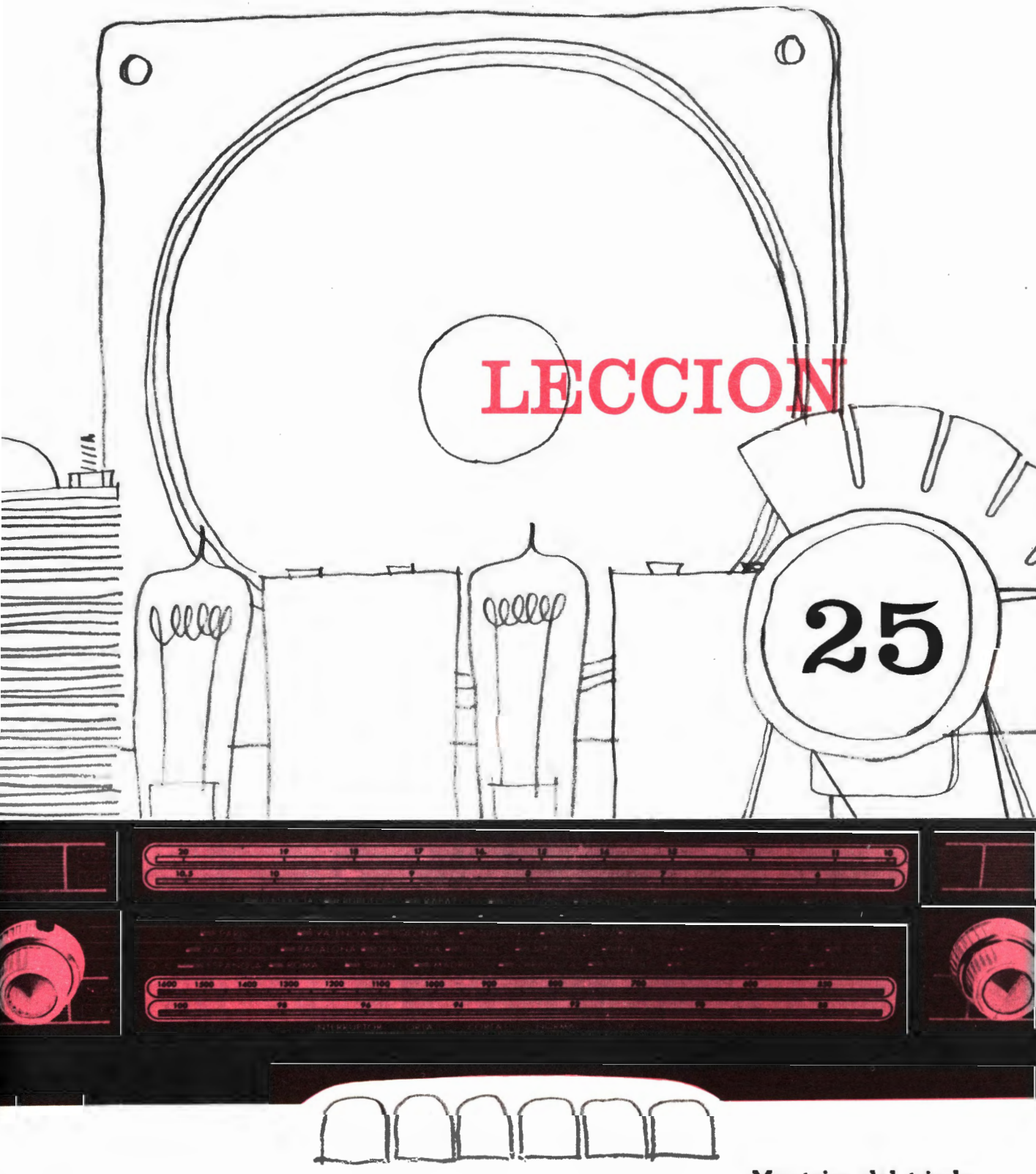
En general no es preciso utilizar este cable más que en el primer paso amplificador, y sobre todo para unir el tocadiscos al amplificador. En los otros pasos lo utilizaremos siempre que las particularidades del montaje nos fuercen a dejar muy largas las conexiones del rejilla.

Este amplificador puede montarse en un chasis muy pequeño, sobre todo si se utiliza un rectificador de selenio en lugar de una válvula EZ81; puede incluirse en una pequeña maleta en cuya tapa se coloca el altavoz. Lo veremos ahora mismo en el capítulo de PRÁCTICAS.

Es de advertir que en la calidad de la reproducción interviene de forma muy acusada el recinto en que está ubicado el altavoz, de forma que la sonoridad de un altavoz *desnudo* es siempre muy pobre. Pierden, sobre todo, las notas graves. Esta cuestión será tratada con más detalle en las lecciones dedicadas a la ALTA FIDELIDAD.



La sonoridad de un altavoz desnudo es pobre, sobre todo para las notas bajas. De ahí que los altavoces se ubiquen en cajas especiales conocidas con el nombre de baffle. Las cualidades y la necesidad de utilizar estos recintos para contener el altavoz cuando se desea una reproducción de elevada calidad, se exponen en las lecciones de Alta Fidelidad.



Montajes del triodo

El seguidor catódico

Amplificadores de c.c.

Amplificadores en contrafase

Amplificadores clase A, AB, B y C

DISTINTOS MONTAJES DE UN TRIODO COMO AMPLIFICADOR

A través de las últimas lecciones estudiadas ha llegado a un conocimiento exacto y bastante profundo de los fenómenos que permiten la amplificación de los sonidos, una vez se han identificado con unas señales eléctricas de mayor o menor amplitud o de mayor o menor frecuencia.

Hemos conocido los fenómenos y, además, la forma de controlarlos; sabemos cómo amplificar una señal y, cosa muy importante, podemos fijar los límites de esta amplificación para que la señal de salida carezca de distorsión.

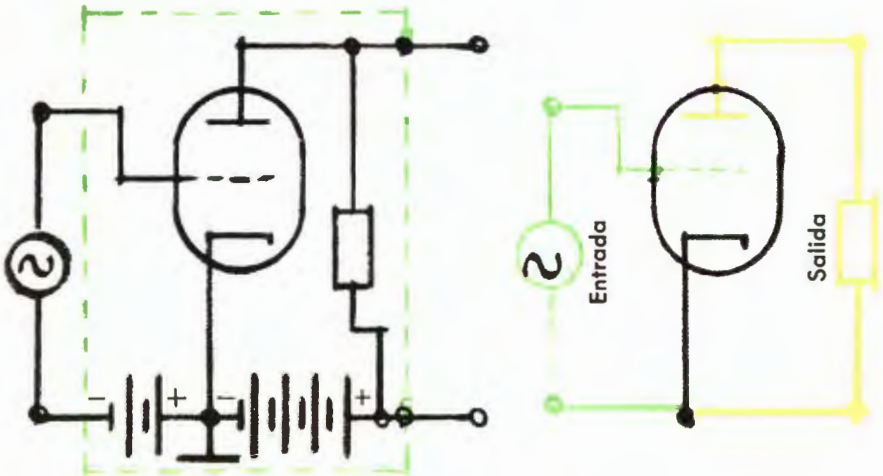
Pues bien; la presente lección cierra un primer paréntesis en este tema fundamentalísimo de la amplificación (el segundo paréntesis se abrirá cuando tratemos a fondo del tema de la alta fidelidad), con la descripción y estudio de algunos montajes amplificadores que difieren más o menos del tipo fundamental de amplificador que hasta aquí hemos analizado.

Empezamos nuestro tema con el análisis de los posibles montajes que admite el triodo cuando se utiliza como amplificador.

MONTAJE DE UN TRIODO CON CATODO COMUN

En todos los montajes amplificadores analizados hasta el momento puede observarse que la señal a la entrada se aplica a un circuito del que forman parte la rejilla y el *cátodo*, y que la señal a la salida se recoge entre dos puntos de otro circuito, del que son parte fundamental la placa y el *cátodo*.

Si para conseguir una mayor simplicidad expresiva procedemos a trazar el esquema del circuito amplificador prescindiendo de las baterías y de todos los componentes accesorios, la función del triodo como amplificador puede quedar simbolizada por el segundo esquema de nuestra primera representación gráfica. En ella se aprecia claramente que el cátodo es común al circuito de entrada y al de salida.



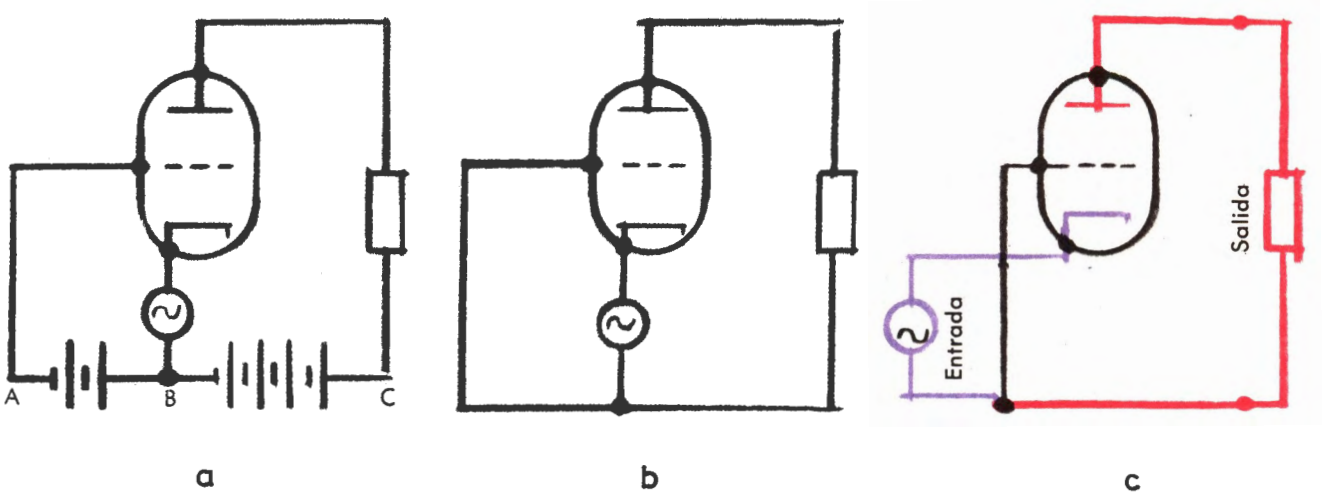
En el esquema simplificado del montaje del triodo como amplificador hasta ahora considerado, se advierte que el cátodo es común a la entrada y a la salida.

Advertida esta circunstancia, ¿a quién puede sorprender que a este montaje de un triodo en funciones de amplificador le denominemos montaje CON CÁTODO COMÚN?

Este montaje — vamos a verlo de inmediato — no es el único capaz de aprovechar las cualidades amplificadoras del triodo; pero sí que es el más ampliamente utilizado.

MONTAJE CON REJILLA COMUN

Vea el montaje esquematizado en nuestra segunda figura. Se trata de un triodo montado como amplificador, en el cual las señales proporcionadas por el generador, que son las que deseamos amplificar, se intercalan en el conductor de cátodo.



En la figura A se ilustra el esquema de principio del montaje con rejilla común. La figura B simboliza el mismo montaje prescindiendo de los elementos que no determinan el funcionamiento del triodo por lo que se refiere a las componentes alternas. En la figura C tenemos los mismos elementos dispuestos de otra forma.

El generador sigue incluido en el circuito de rejilla, aunque intercalado en un punto distinto. Observe los esquemas correspondientes a este apartado y verá que la d.d.p. alterna debida al generador queda igualmente aplicada a la rejilla o, con más exactitud, entre rejilla y cátodo. En consecuencia, la corriente en el circuito de placa varía de acuerdo con esta d.d.p. que aparece amplificada en la placa.

Para tener una idea más clara de cómo funciona este montaje por lo que se refiere a las componentes alternas, observe que entre los puntos A, B y C no puede existir ninguna d.d.p. alterna, ya que en estos puntos las baterías establecen potenciales fijos. En consecuencia, por lo que a las señales alternas se refiere, es como si estos puntos estuviesen conectados entre sí, como queda ilustrado en la figura *b* de la serie anterior. La figura *c* es un esquema idéntico al *b*, salvo en la disposición de los elementos, dibujados en la posición que puede verse para poner de manifiesto con absoluta claridad el hecho de que, en este montaje, la *rejilla* es el electrodo común a la entrada y a la salida del paso amplificador.

En el montaje con rejilla común, la amplificación que proporciona el triodo es ligeramente superior a la que rinde cuando se ha montado con cátodo común. Pero el triodo montado con rejilla común presenta un grave inconveniente que no permite que este montaje pueda ser utilizado normalmente.

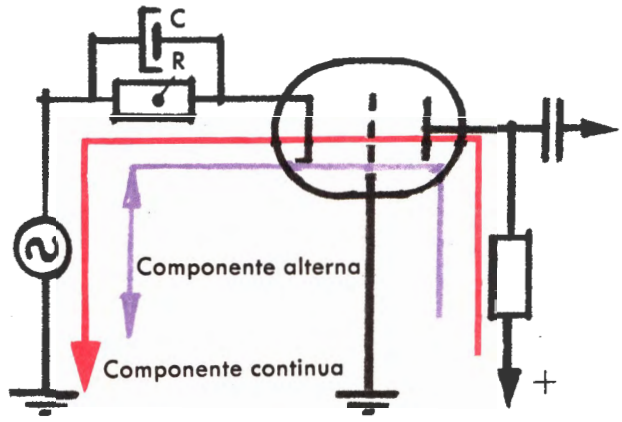
El inconveniente está en el hecho de que el generador que proporciona la señal que debe ser aplicada deberá, al mismo tiempo, quedar atravesado por la corriente de placa, cosa que no siempre es posible, o conveniente.

Si, por ejemplo, deseásemos amplificar las señales procedentes de un pick-up magnético, no podríamos utilizar este montaje por la razón siguiente:

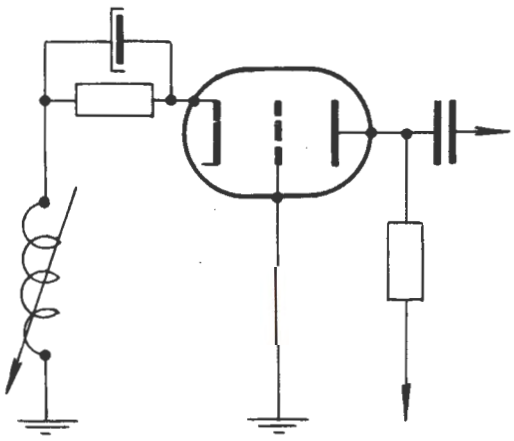
La componente continua de la tensión de placa, al circular por la bobina del pick-up, *agarrotaría* la aguja privándola de movimiento. Este montaje sería aún menos factible si pretendiésemos amplificar los sonidos procedentes de un pick-up de cristal, ya que las láminas metálicas adosadas a las caras del cristal piezoeléctrico constituyen a modo de un condensador que impide radicalmente el paso de la componente continua.

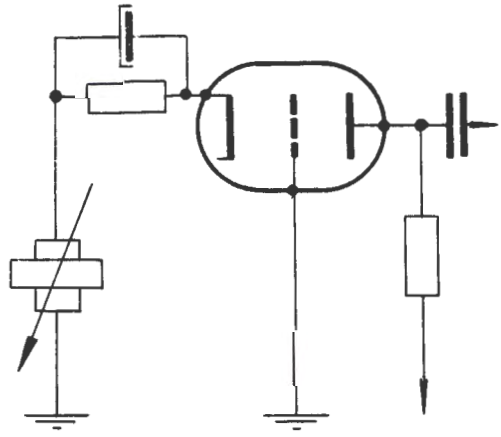
Este montaje ofrece una particularidad digna de ser tenida en cuenta: a diferencia de lo que ocurre con el montaje con cátodo común, cuando el triodo se monta con rejilla común, LAS TENSIONES DE ENTRADA Y DE SALIDA ESTÁN EN FASE.

Es decir; que, limitándonos a las componentes alternas, cualquier variación de la tensión en el cátodo implica otra variación del mismo signo en la tensión en la placa. Cuando aumenta la primera, aumenta también la segunda y viceversa.



Un inconveniente del montaje con rejilla común es que la corriente de placa (componente alterna y componente continua) debe circular por el generador conectado a la entrada. La figura ilustra también el hecho de que la polarización puede conseguirse con un grupo RC, igual que en el caso del montaje con cátodo común.



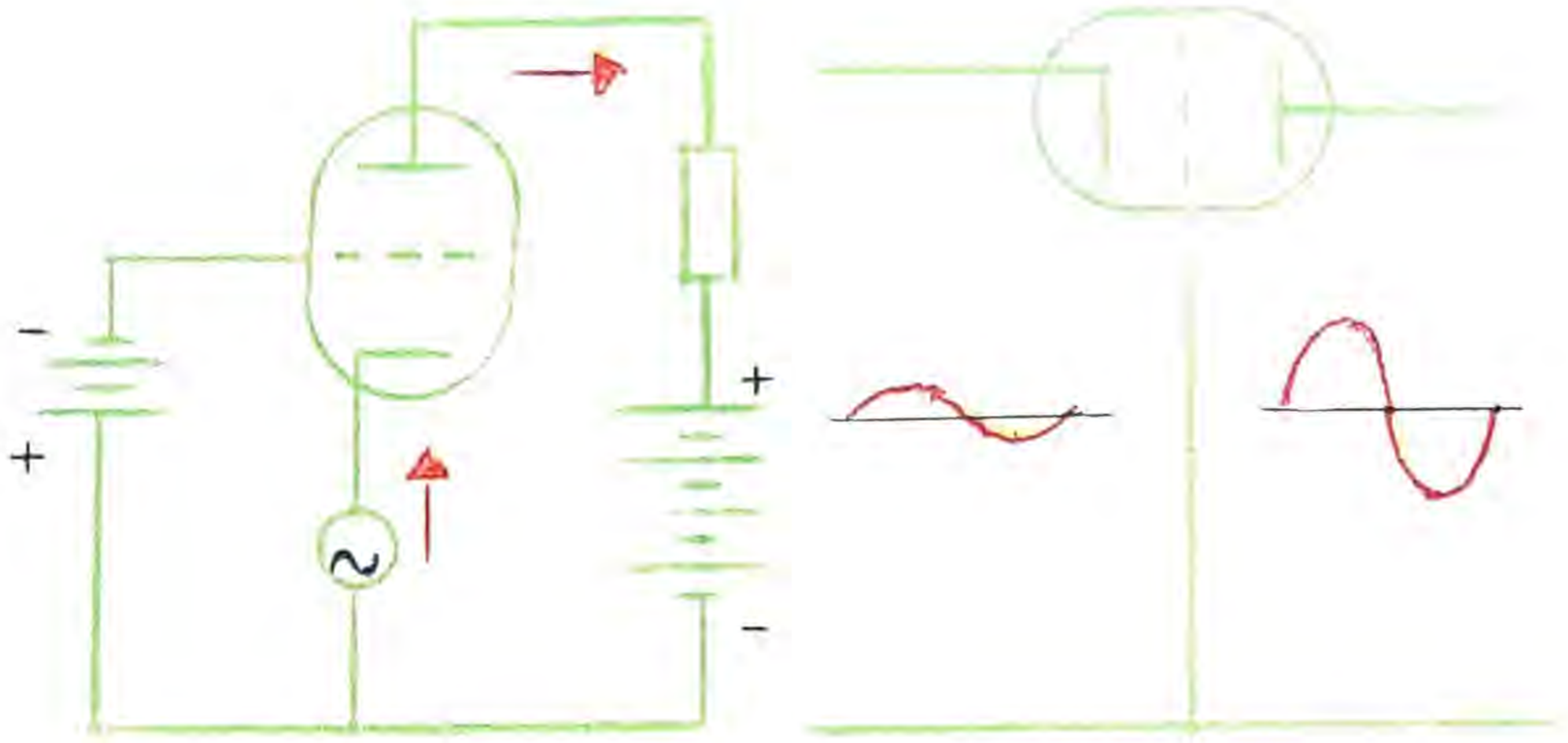


He ahí dos montajes cuya realización no es posible debido al inconveniente que supone que la corriente de placa deba circular por el generador cuyas señales queremos amplificar.

Para comprender que debe ocurrir como decimos, basta tener en cuenta que si la válvula está bien polarizada la rejilla será siempre negativa con respecto al cátodo, y que cuanto más negativa es la rejilla respecto al cátodo, menos corriente circula por la válvula.

Ahora bien; decir que la rejilla es negativa con respecto al cátodo equivale a decir que el cátodo es positivo con respecto a la rejilla; y, por lo mismo, que cuanto más positivo sea el cátodo en relación con la rejilla, menos corriente circula por la válvula; es decir: entre placa y cátodo.

Se comprende que si en un momento dado la tensión en el cátodo va en aumento, a causa de un crecimiento de la tensión de entrada, la corriente irá disminuyendo; y puesto que la tensión en la placa es igual a la de la batería de placa menos la caída de potencial debida a la resistencia de carga, es lógico que esta disminución de la corriente se traduzca en un aumento de la tensión de placa, ya que la caída en la resistencia mencionada habrá disminuido.



En el gráfico de la izquierda se ha querido indicar que todo aumento en la tensión de cátodo supone un aumento en la tensión de placa. El resultado es que existe concordancia entre la tensión de cátodo (entrada) y la tensión de salida.

Por la misma razón, cuando baje la tensión de cátodo bajará también la tensión de placa.

Hemos dicho que en el montaje con rejilla común la ganancia es mayor que si utilizamos el montaje con cátodo común. La razón está precisamente en el hecho de que la señal que deseamos amplificar queda incluida en el circuito de placa, de tal modo que si no consideramos el triodo propiamente dicho, sino su circuito equivalente (recuerde nuestra lección 18), el generador cuya f.e.m. de valor V_e queremos amplificar queda intercalado en serie con un generador de f.e.m. cuyo valor es $E = \mu \times V_e$ y cuya resistencia interna es R_p.

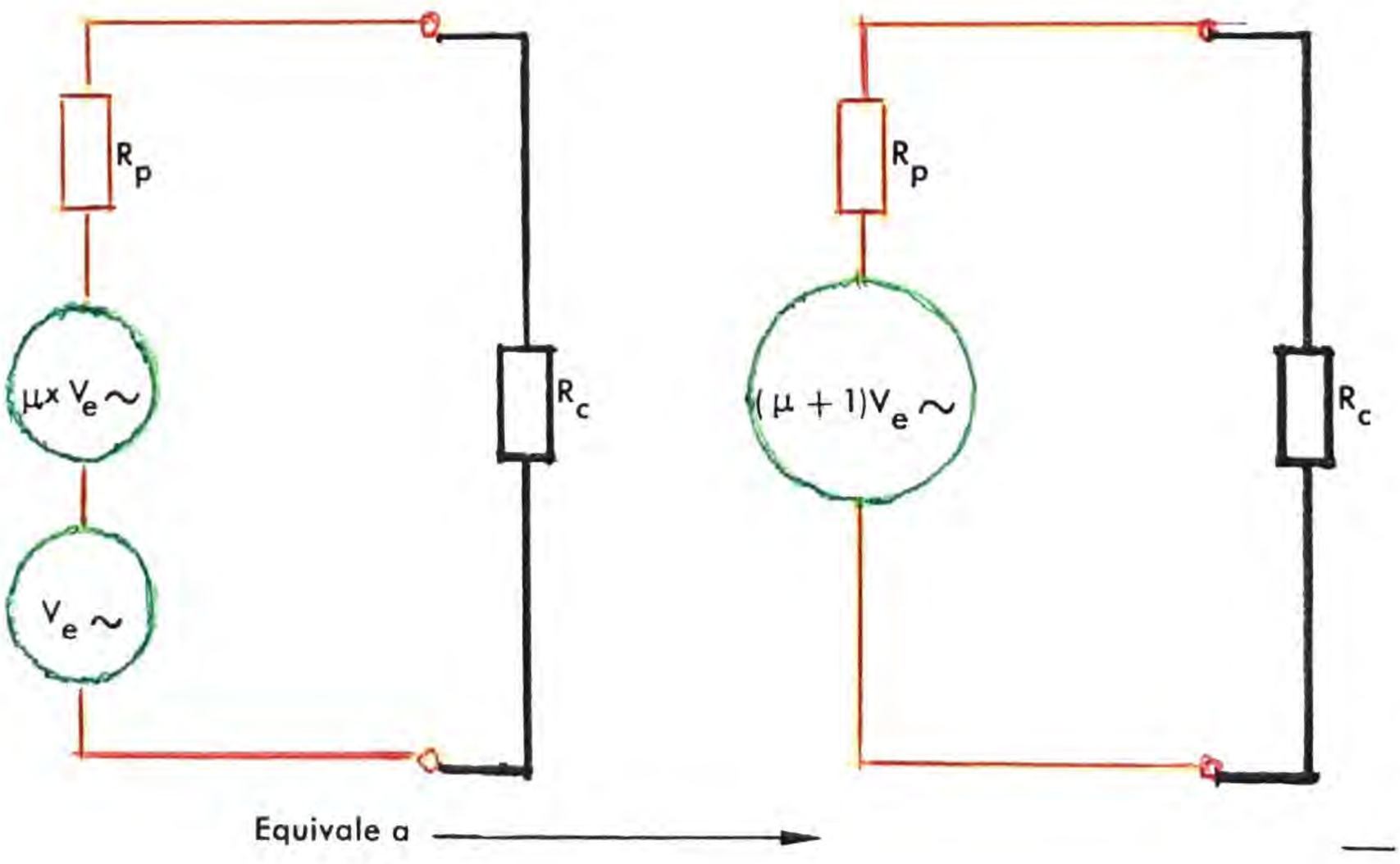
Resulta que la f.e.m. que hace circular la corriente de placa es, en el circuito equivalente,

$$E = \mu \times V_e + V_e$$

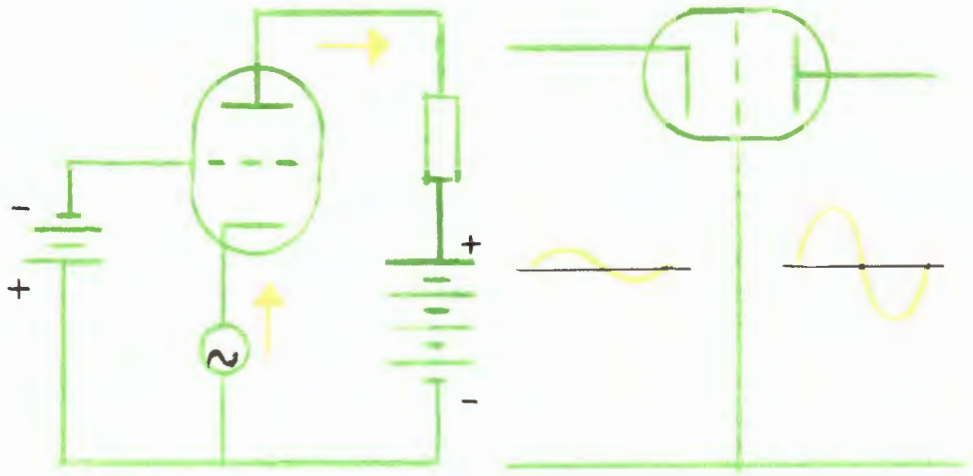
o, lo que es igual,

$$E = (\mu + 1)\ V_e$$

En el montaje con rejilla común, el triodo se comporta como si el coeficiente de amplificación fuese una unidad mayor del valor que realmente tiene.



En el montaje con rejilla común el triodo se comporta como si tuviese un coeficiente de amplificación de valor $\mu + 1$.



En el gráfico de la izquierda se ha querido indicar que todo aumento en la tensión de cátodo supone un aumento en la tensión de placa. El resultado es que existe concordancia entre la tensión de cátodo (entrada) y la tensión de salida.

Por la misma razón, cuando baje la tensión de cátodo bajará también la tensión de placa.

Hemos dicho que en el montaje con rejilla común la ganancia es mayor que si utilizamos el montaje con cátodo común. La razón está precisamente en el hecho de que la señal que deseamos amplificar queda incluida en el circuito de placa, de tal modo que si no consideramos el triodo propiamente dicho, sino su circuito equivalente (recuerde nuestra lección 18), el generador cuya f.e.m. de valor V_e queremos amplificar queda intercalado en serie con un generador de f.e.m. cuyo valor es $E = \mu \times V_e$ y cuya resistencia interna es R_p.

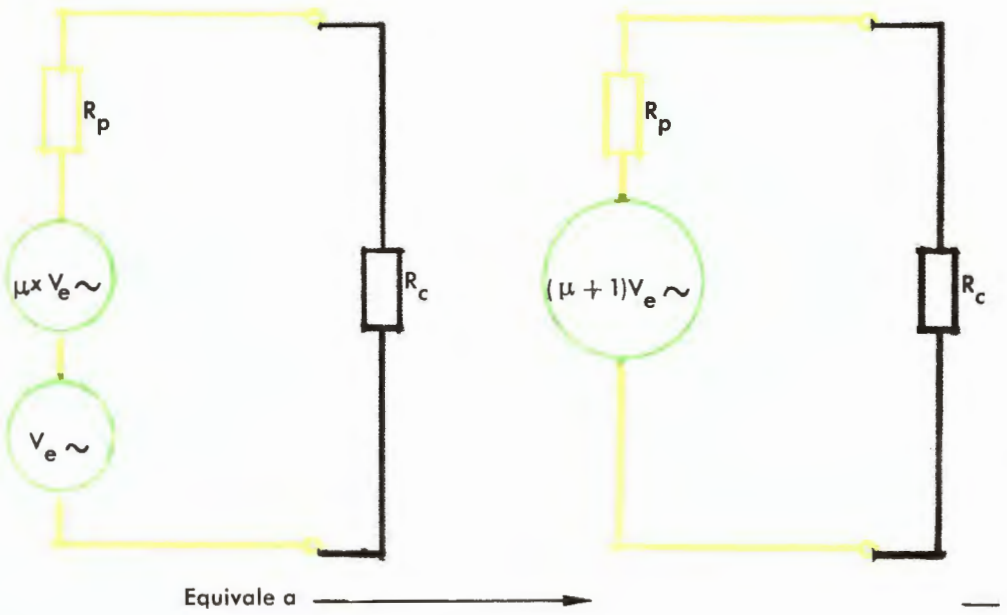
Resulta que la f.e.m. que hace circular la corriente de placa es, en el circuito equivalente,

$$E = \mu \times V_e + V_e$$

o, lo que es igual,

$$E = (\mu + 1)\ V_e$$

En el montaje con rejilla común, el triodo se comporta como si el coeficiente de amplificación fuese una unidad mayor del valor que realmente tiene.



En el montaje con rejilla común el triodo se comporta como si tuviese un coeficiente de amplificación de valor $\mu + 1$.

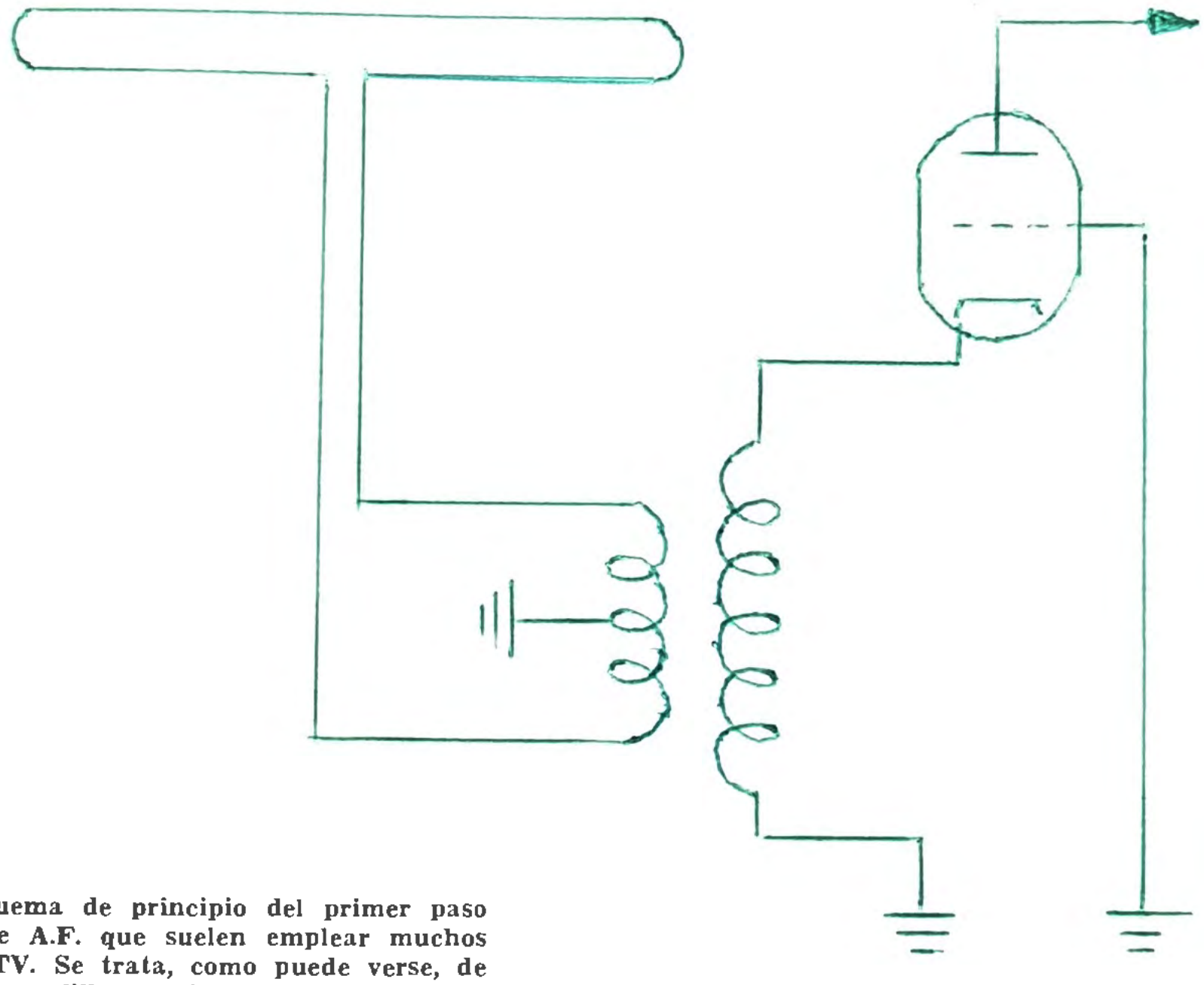
De todas formas, cuando un triodo tiene un coeficiente de amplificación elevado (de 10 en adelante) el aumento de una unidad que proporciona el montaje con rejilla común no representa una ventaja apreciable.

Después de estas explicaciones usted debe de pensar que el montaje del triodo con rejilla común es totalmente inútil.

Para reconciliarle con él, nos apresuramos a decir que la real ventaja de dicho montaje está en el hecho de poder ser utilizado para la amplificación de frecuencias muy elevadas con resultados más satisfactorios que utilizando el montaje con cátodo común.

Es frecuente, por ejemplo, encontrar triodos con rejilla común en el primer paso amplificador de A.F. de los televisores, donde deben amplificarse señales cuya frecuencia es del orden de los 100 Mc/s.

Añadimos la representación del esquema de principio de este primer paso amplificador de A.F. propio de un receptor de TV.



Este es el esquema de principio del primer paso amplificador de A.F. que suelen emplear muchos receptores de TV. Se trata, como puede verse, de un montaje con rejilla común.

MONTAJE CON PLACA COMUN

Llegamos al último tipo de montaje que permite aprovechar las cualidades amplificadoras del triodo: MONTAJE CON PLACA COMÚN.

Los esquemas correspondientes a este principio son suficientemente claros como para comprender en qué consiste el montaje con placa común.

Observe en los esquemas que en este montaje la resistencia de carga está conectada entre el cátodo y el negativo de la batería de placa en lugar de quedar entre la placa y el positivo. Por lo que atañe a las componentes alternas, los puntos A y B deben considerarse conectados entre sí, por la sencilla razón de que entre ellos no existe d.d.p. variable; únicamente encontraremos la d.d.p. fija que impone la batería B_a. Total: con este montaje, el triodo se comporta como un amplificador en el cual la señal de entrada se aplica entre rejilla y placa y cuya señal de salida se encuentra entre placa y cátodo.

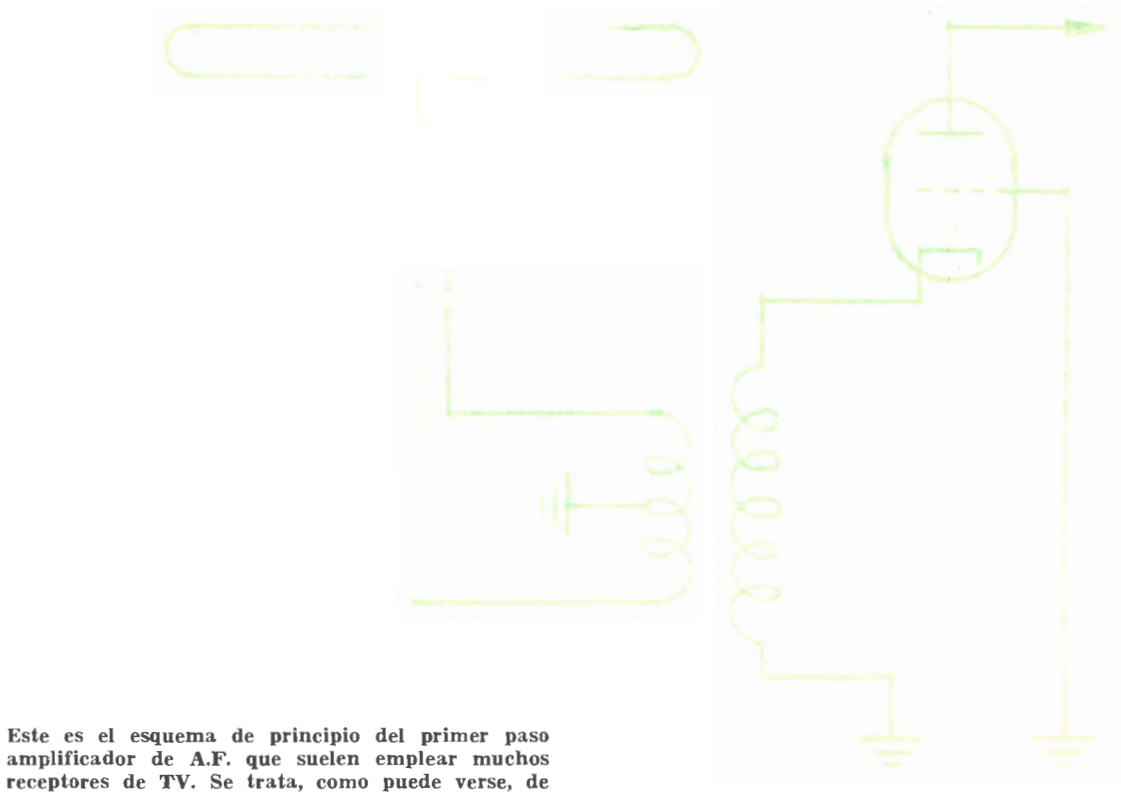
De todas formas, cuando un triodo tiene un coeficiente de amplificación elevado (de 10 en adelante) el aumento de una unidad que proporciona el montaje con rejilla común no representa una ventaja apreciable.

Después de estas explicaciones usted debe de pensar que el montaje del triodo con rejilla común es totalmente inútil.

Para reconciliarle con él, nos apresuramos a decir que la real ventaja de dicho montaje está en el hecho de poder ser utilizado para la amplificación de frecuencias muy elevadas con resultados más satisfactorios que utilizando el montaje con cátodo común.

Es frecuente, por ejemplo, encontrar triodos con rejilla común en el primer paso amplificador de A.F. de los televisores, donde deben amplificarse señales cuya frecuencia es del orden de los 100 Mc/s.

Añadimos la representación del esquema de principio de este primer paso amplificador de A.F. propio de un receptor de TV.



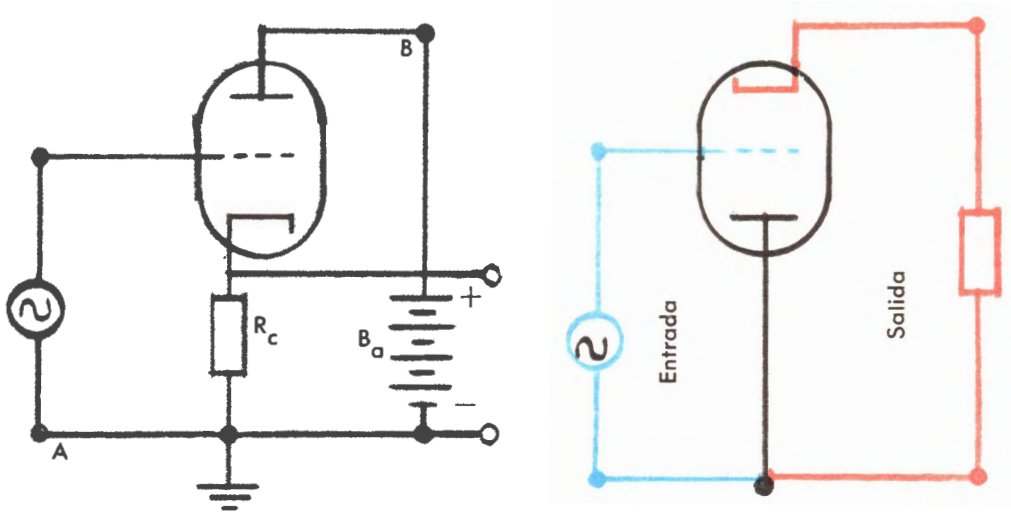
Este es el esquema de principio del primer paso amplificador de A.F. que suelen emplear muchos receptores de TV. Se trata, como puede verse, de un montaje con rejilla común.

MONTAJE CON PLACA COMUN

Llegamos al último tipo de montaje que permite aprovechar las cualidades amplificadoras del triodo: MONTAJE CON PLACA COMÚN.

Los esquemas correspondientes a este principio son suficientemente claros como para comprender en qué consiste el montaje con placa común.

Observe en los esquemas que en este montaje la resistencia de carga está conectada entre el cátodo y el negativo de la batería de placa en lugar de quedar entre la placa y el positivo. Por lo que atañe a las componentes alternas, los puntos A y B deben considerarse conectados entre sí, por la sencilla razón de que entre ellos no existe d.d.p. variable; únicamente encontraremos la d.d.p. fija que impone la batería B_a. Total: con este montaje, el triodo se comporta como un amplificador en el cual la señal de entrada se aplica entre rejilla y placa y cuya señal de salida se encuentra entre placa y cátodo.

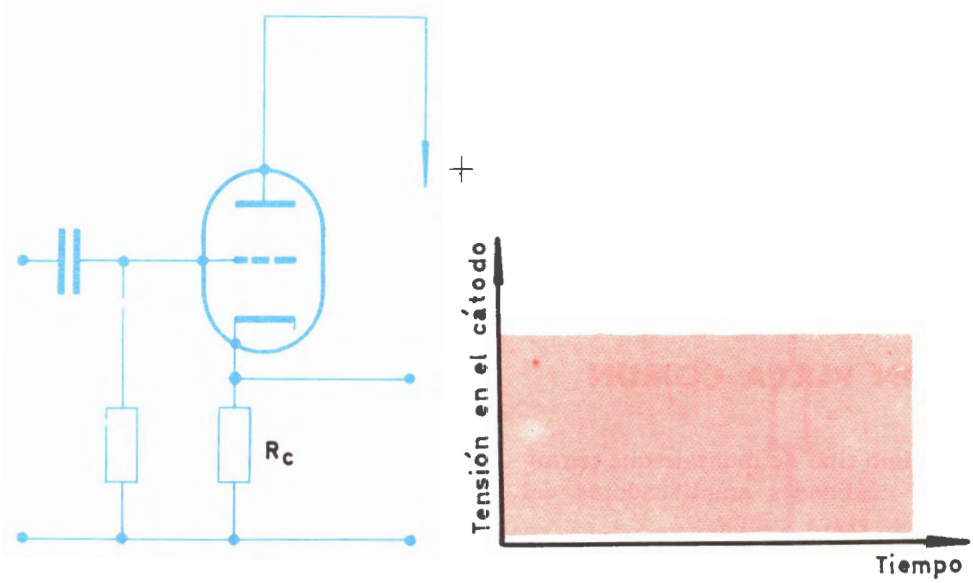


Esquema de principio y esquema reducido del montaje de un triodo con placa común.

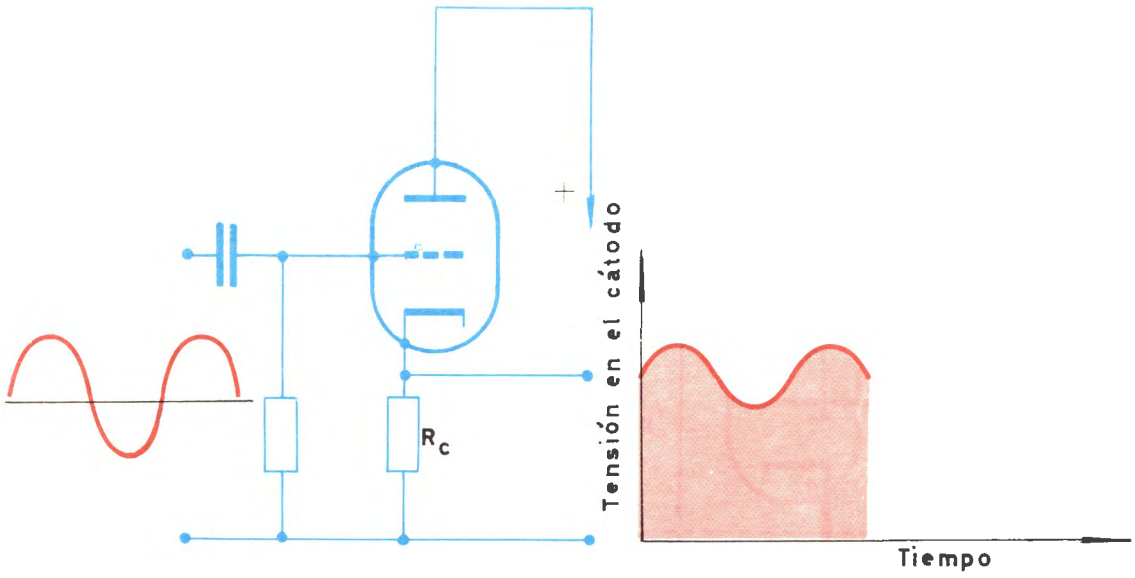
El funcionamiento de este montaje se comprende con relativa facilidad.

Cuando no se aplica señal a la entrada, la resistencia R_c queda recorrida por la componente continua, que provoca una d.d.p. entre sus extremos. Supongamos que el valor de la d.d.p. entre los extremos de R_c sea la justa para polarizar correctamente la placa. Todo depende de elegir un valor adecuado para dicha resistencia de carga R_c.

Se comprende, pues, que al aplicar a la entrada una señal alterna, la tensión en la rejilla variará según esta señal; y con ella variarán la corriente a través del triodo y la d.d.p. en los extremos de la resistencia R_c. Estas variaciones constituyen la señal de salida.



Cuando no se aplica señal a la entrada, el potencial de cátodo es fijo.



Cuando se aplica una señal a la rejilla, la tensión de cátodo varía de forma que la componente alterna de salida está en fase con la señal de entrada.

¿No le recuerda todo esto lo que dijimos acerca de la polarización por cátodo?

La diferencia está en que allí era necesario impedir las variaciones de tensión en el cátodo originadas por la componente alterna de la corriente de placa. Aquí, en cambio, tales variaciones forman la señal utilizable, o sea, la señal amplificada.

En este amplificador con placa común, las señales a la entrada y a la salida ESTÁN EN FASE.

Se comprende que deba ser así al considerar que, según sabemos cuando se aplica una señal alterna a la rejilla la corriente de placa es máxima en los picos positivos de dicha señal y mínima en los picos negativos. Resulta claro que la tensión en el cátodo tomará también valores máximos o mínimos, de acuerdo con las fluctuaciones de la corriente, puesto que esta tensión no es otra cosa que la caída de potencial originada en R_c por esta misma corriente.

UN DETALLE CURIOSO EN EL TRIODO CON PLACA COMUN

LA GANANCIA DE UN TRIODO MONTADO CON PLACA COMÚN ES MENOR QUE LA UNIDAD.

La afirmación anterior equivale a decir que la tensión de salida es siempre menor que la tensión de entrada.

Es un detalle sorprendente, porque en este caso estamos ante un montaje que no puede considerarse un amplificador, puesto que hace todo lo contrario. Lejos de amplificar, reduce la tensión.

Ante esta afirmación, cabe preguntarse qué utilidad (si la tiene) puede ofrecer un montaje cuyas características son en principio tan poco atractivas.

La respuesta es: sí. Este montaje, en contra de lo que puede parecer, es bastante utilizado.

Tengamos en cuenta que si bien el triodo con placa común no amplifica la tensión, puede, sin embargo, suministrar a la salida una potencia o una intensidad relativamente grandes sin que sea necesario que las señales de entrada tengan potencia e intensidad apreciables.

Pero antes de estudiar las posibilidades de este montaje, bueno será que intentemos comprender por qué la ganancia no puede superar el valor uno. Es decir: ¿por qué la ganancia será siempre menor que la unidad?

Supongamos un triodo en el cual se cumple lo siguiente: cuando la d.d.p. entre placa y cátodo es de 150 V, la tensión de polarización correcta es $V_g = -5$ V y la intensidad de placa correspondiente $I_p = 5$ mA. La polarización puede conseguirse por medio de una resistencia de cátodo de

1.000 Ω, ya que los 5 mA de la corriente de placa darían lugar en ella a una caída de potencial de 5 V positivos con respecto al chasis. Pensemos, empero, en que para obtener una I_p de 5 mA, la tensión de placa debe ser realmente de 150 V; para obtener esta tensión, habida cuenta de los 5 V que aparecen en la resistencia de cátodo, la fuente de alimentación debe proporcionar 155 V.

Éstas serán las condiciones de funcionamiento de un triodo genérico montado con placa común.

Siga ahora, a través de la siguiente serie de esquemas, el comportamiento de la válvula cuando se aplica a su rejilla un potencial positivo respecto al chasis.

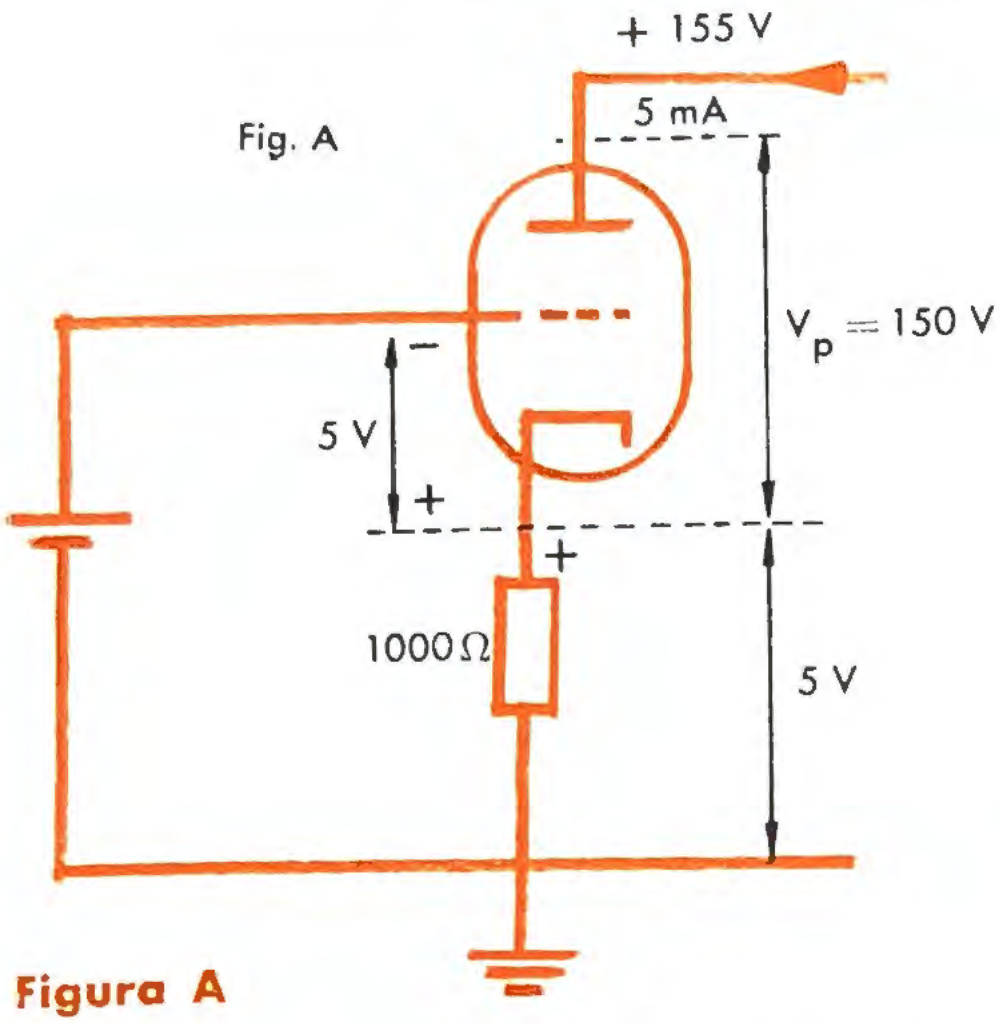


Figura A

En el esquema se indican las condiciones de funcionamiento del triodo con placa común cuando no aplicamos ningún potencial a la rejilla. El cátodo es positivo respecto al chasis (5 V), y entre rejilla y cátodo existe también una d.d.p. de 5 V.

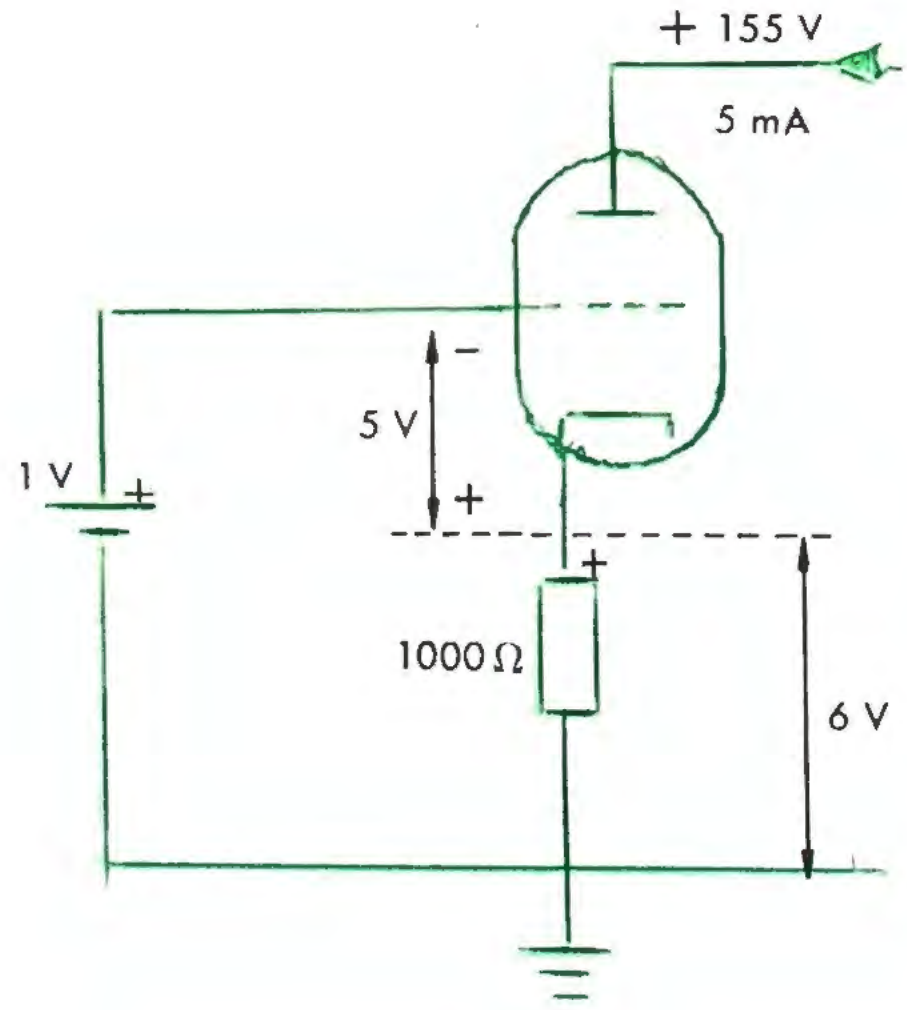


Fig. C

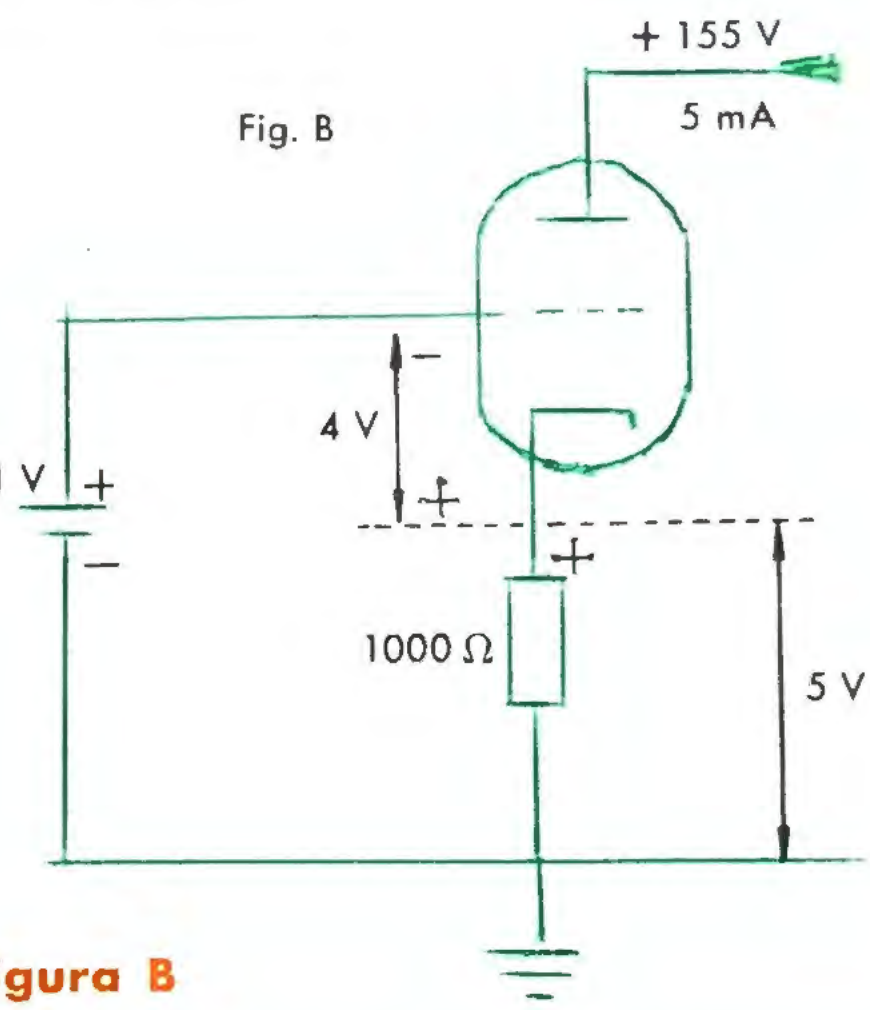


Figura B

Este esquema supone el instante mismo en que se aplica a la rejilla 1 V positivo respecto al chasis.

Suponiendo que en este instante no ha variado la tensión de cátodo, la d.d.p. entre éste y la rejilla ha quedado reducida a 4 V.

Pero esta disminución en 1 V de la d.d.p. entre rejilla y cátodo acarrea forzosamente un aumento de la corriente de placa; y por tanto un aumento de la tensión de cátodo, que no puede mantenerse en 5 V. Ya hemos dicho que la figura B representa el instante mismo de la aplicación de + 1 V a la rejilla.

Figura C

Los valores indicados en este esquema representan un imposible.

Nos preguntamos: ¿hasta qué valor puede subir el potencial de cátodo?

Una cosa puede decirse con toda certeza, y es que nunca podrá alcanzar los 6 V indicados en la figura C, porque de ser así la d.d.p. entre rejilla y cátodo seguirá siendo de $6 - 1 = 5$ V; no habría existido aumento en la corriente de placa, con lo cual tampoco se justifica el aumento de la tensión de cátodo.

1.000 Ω, ya que los 5 mA de la corriente de placa darían lugar en ella a una caída de potencial de 5 V positivos con respecto al chasis. Pensemos, empero, en que para obtener una I_p de 5 mA, la tensión de placa debe ser realmente de 150 V; para obtener esta tensión, habida cuenta de los 5 V que aparecen en la resistencia de cátodo, la fuente de alimentación debe proporcionar 155 V.

Éstas serán las condiciones de funcionamiento de un triodo genérico montado con placa común.

Siga ahora, a través de la siguiente serie de esquemas, el comportamiento de la válvula cuando se aplica a su rejilla un potencial positivo respecto al chasis.

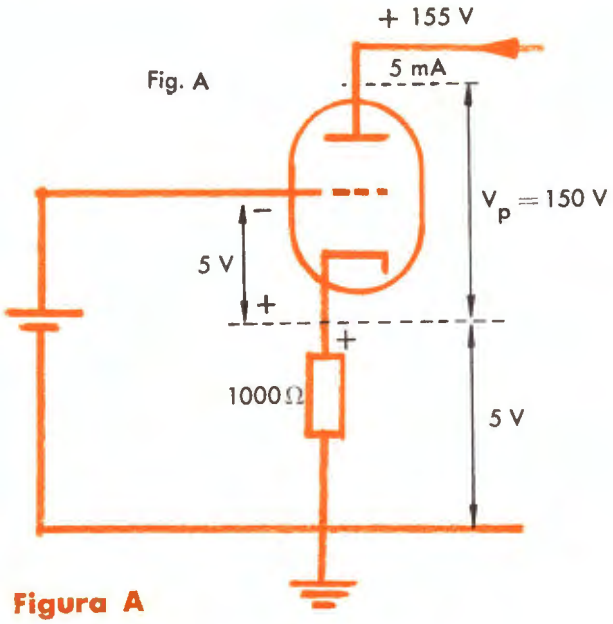


Figura A

En el esquema se indican las condiciones de funcionamiento del triodo con placa común cuando no aplicamos ningún potencial a la rejilla. El cátodo es positivo respecto al chasis (5 V), y entre rejilla y cátodo existe también una d.d.p. de 5 V.

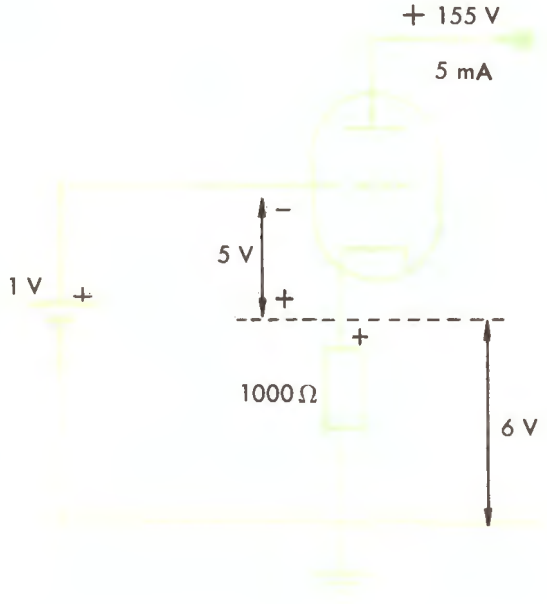


Fig. C

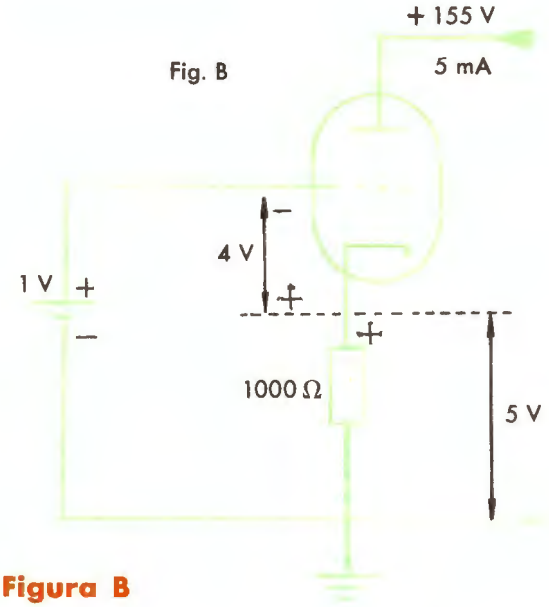


Figura B

Este esquema supone el instante mismo en que se aplica a la rejilla 1 V positivo respecto al chasis.

Suponiendo que en este instante no ha variado la tensión de cátodo, la d.d.p. entre éste y la rejilla ha quedado reducida a 4 V.

Pero esta disminución en 1 V de la d.d.p. entre rejilla y cátodo acarrea forzosamente un aumento de la corriente de placa; y por tanto un aumento de la tensión de cátodo, que no puede mantenerse en 5 V. Ya hemos dicho que la figura B representa el instante mismo de la aplicación de + 1 V a la rejilla.

Figura C

Los valores indicados en este esquema representan un imposible.

Nos preguntamos: ¿hasta qué valor puede subir el potencial de cátodo?

Una cosa puede decirse con toda certeza, y es que nunca podrá alcanzar los 6 V indicados en la figura C, porque de ser así la d.d.p. entre rejilla y cátodo seguirá siendo de $6 - 1 = 5$ V; no habría existido aumento en la corriente de placa, con lo cual tampoco se justifica el aumento de la tensión de cátodo.

Figura D

Con toda seguridad, la tensión de cátodo no habrá alcanzado los 6 V. Supongamos que llega a ser de 5'75 V, por ejemplo.

Eso supone que la d.d.p. entre rejilla y cátodo habrá pasado de 5 V, de cuando no había señal, a 5'75 — 1 = 4'75 V al aplicar la señal de + 1 V.

Esta disminución de la d.d.p. entre rejilla y cátodo justifica el aumento de corriente y que la tensión en el cátodo haya subido a 5'75 V. Este resultado sí que es posible: la tensión de cátodo aumenta necesariamente menos que la tensión de rejilla. El resultado concreto, como es natural, depende siempre de las características de cada triodo.

La ganancia, en el caso presente, sería:

$$G = \frac{0'75}{1} = 0'75$$

Es menor que la unidad, como habíamos afirmado al principio.

En este montaje, lo mismo que en el de cátodo común, *la ganancia aumenta al aumentar el valor de la resistencia de carga;* pero mientras en el primer caso (cátodo común) el límite teórico para la ganancia era $G = \mu$, en el caso de un montaje con placa común es $G = \frac{\mu}{\mu + 1}$, límite que, suponiendo un coeficiente de amplificación μ de elevado valor, queda muy cerca de la unidad.

En la práctica es posible obtener una ganancia prácticamente igual a uno (será *casi* igual a la unidad); mas para ello hace falta que la resistencia de carga R_c tenga un valor que normalmente será mucho mayor que el valor que conviene para conseguir una adecuada tensión de polarización. El excesivo valor dado a R_c hará que el cátodo sea excesivamente positivo.

A título de ejemplo podemos suponer que R_c ha pasado de los 1.000 Ω que valía en el ejemplo anterior a un valor de 10.000 Ω. Se entiende que nuestro deseo es hacer que la válvula trabaje con la misma tensión de polarización (5 V) y la misma intensidad de placa (5 mA). Habida cuenta de que, en estas circunstancias, en el cátodo habrá una tensión de:

$$0'005 \text{ A} \times 10.000 \ \Omega = 50 \text{ V}$$

Si deseamos mantener en 150 V la d.d.p. entre placa y cátodo, será preciso elevar a 200 V la tensión de alimentación. Por otro lado, para conseguir que la rejilla resulte 5 V más negativa que el cátodo bastará con que le apliquemos una tensión positiva con 5 V menos que la tensión de cátodo.

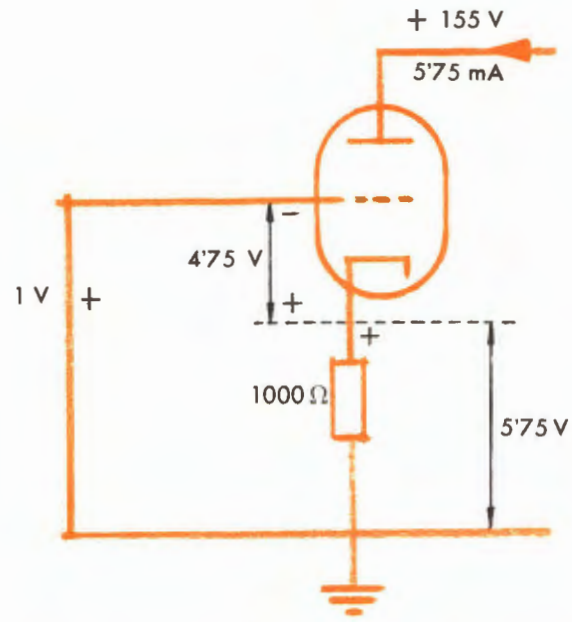


Fig. D

DEL SEGUIDOR CATODICO

Este condicionado puede conseguirse de formas diversas. Una de ellas, la más inmediata, consistirá en aplicar una batería. Es una solución inmediata, pero no un procedimiento práctico.

Veamos otro sistema que aprovecha la circunstancia de que, en este montaje, la tensión de polarización de rejilla deba ser positiva (respecto al chasis, se entiende). Puede obtener el valor adecuado sin más que reducir el del borne + AT por medio de un divisor de tensión.

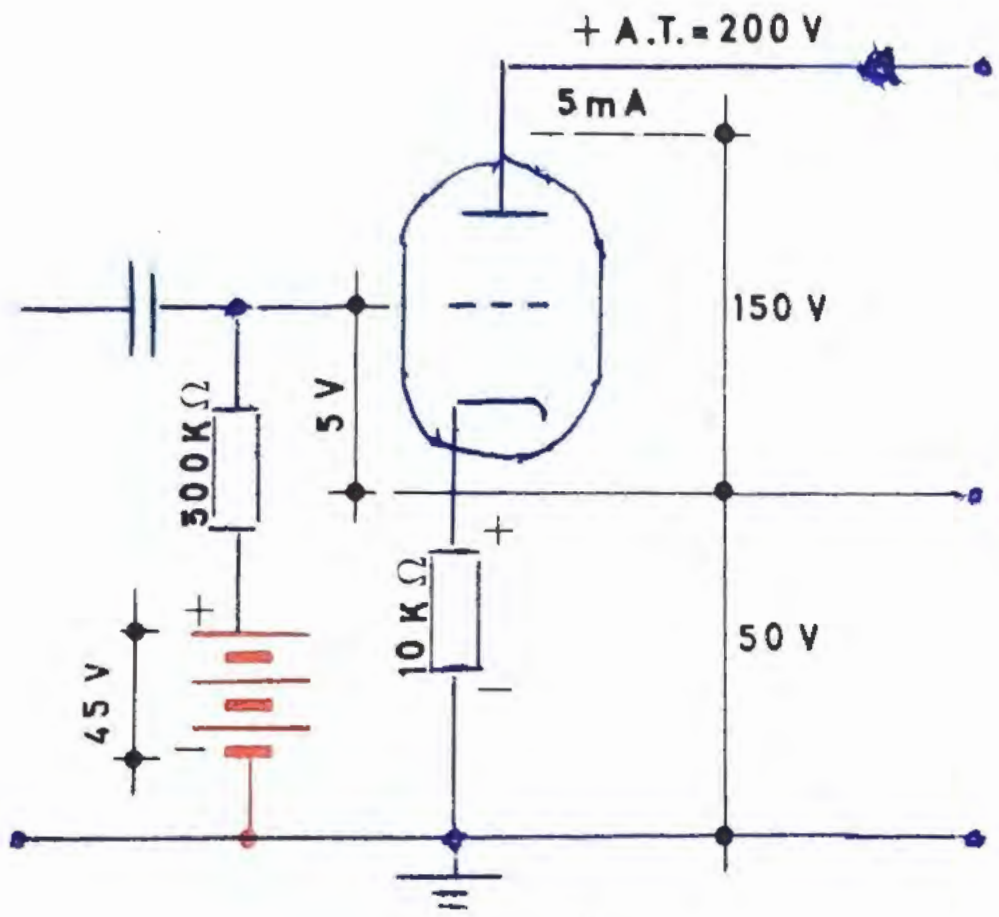
En el ejemplo propuesto deben elegirse dos resistencias cuyos valores sean proporcionales a 155 V y a 45 V respectivamente. De entre los muchos valores que cumplen con esta condición conviene trabajar con los que permiten que la resistencia conectada entre rejilla y cátodo tenga un valor del orden de los 0'5 MΩ. Tenga presente que esta resistencia, además de formar parte del divisor de tensión, cumple, junto con el condensador de entrada, la misión de eliminar la compo-

nente continua del paso anterior. Dos valores adecuados para nuestro divisor de tensión serían, por ejemplo, 1'55 MΩ y 0'45 MΩ.

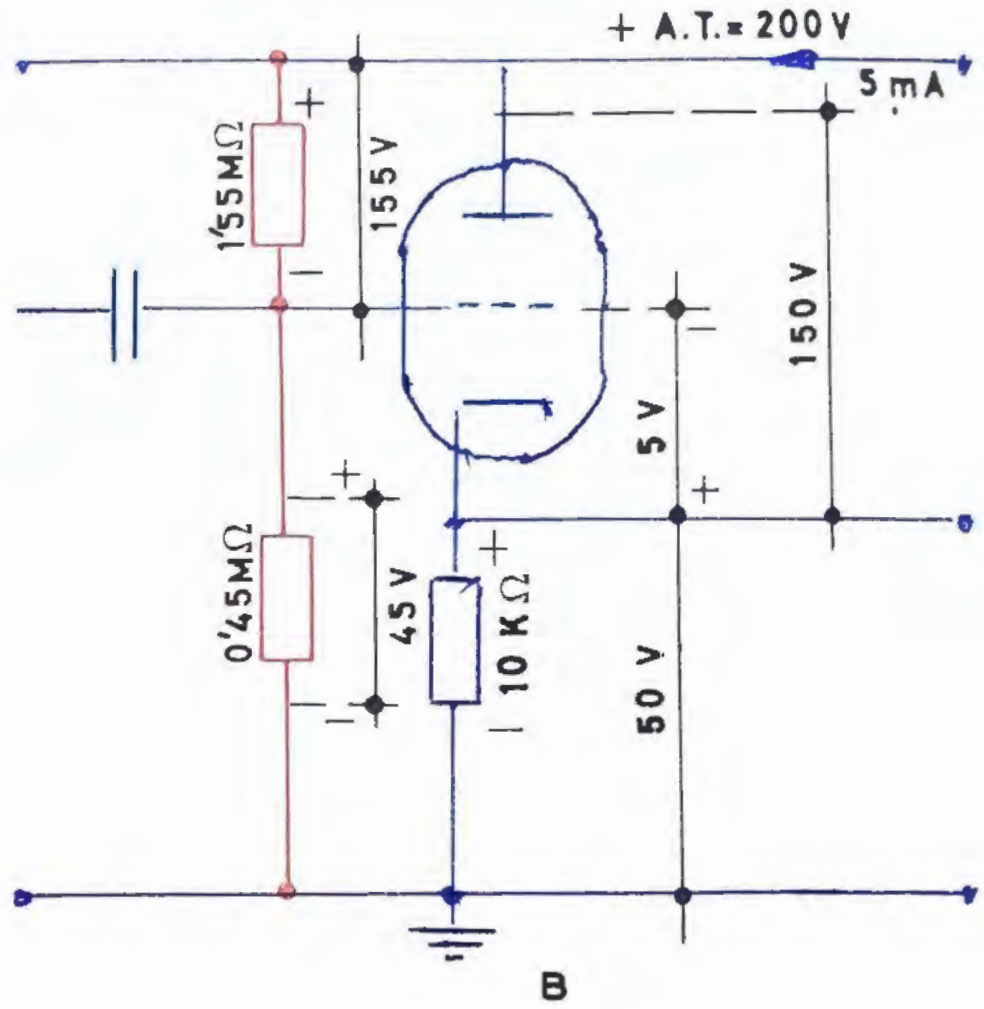
Otro método, muy práctico, consiste en obtener la tensión de polarización mediante una toma intermedia en la resistencia de cátodo.

La resistencia de carga de 10.000 Ω, conveniente al ejemplo que estamos considerando, es indudable que puede obtenerse conectando en serie una resistencia de 1.000 Ω y otra de 9.000 Ω.

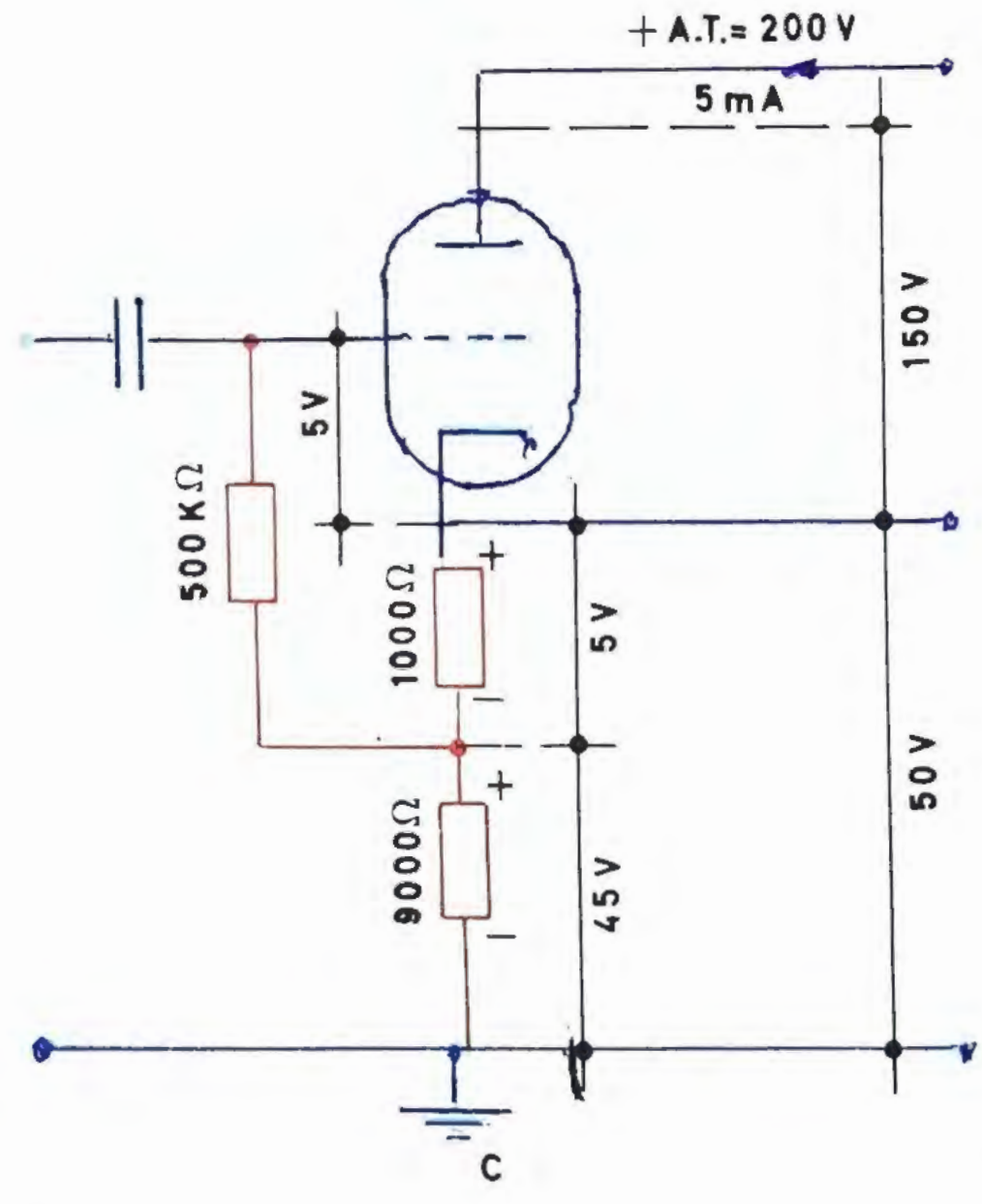
En la primera aparecerá una d.d.p. de 5 V, bastando con conectar la resistencia de rejilla al punto de unión de los 1.000 Ω y 9.000 Ω para que esta d.d.p. quede aplicada entre rejilla y cátodo.



A



B



C

Estos son los tres sistemas posibles para obtener la polarización de un seguidor catódico cuando la resistencia de carga es grande:
A) Mediante una batería.
B) Mediante un divisor de tensión a partir de +AT.
C) Mediante una toma intermedia en la resistencia de carga.

Cualquiera de estos tres procedimientos permite aumentar la resistencia de carga hasta el valor deseado, con lo cual conseguiremos que la componente alterna de la tensión a la salida sea prácticamente igual (casi igual) a la tensión de entrada, tanto en fase como en amplitud.

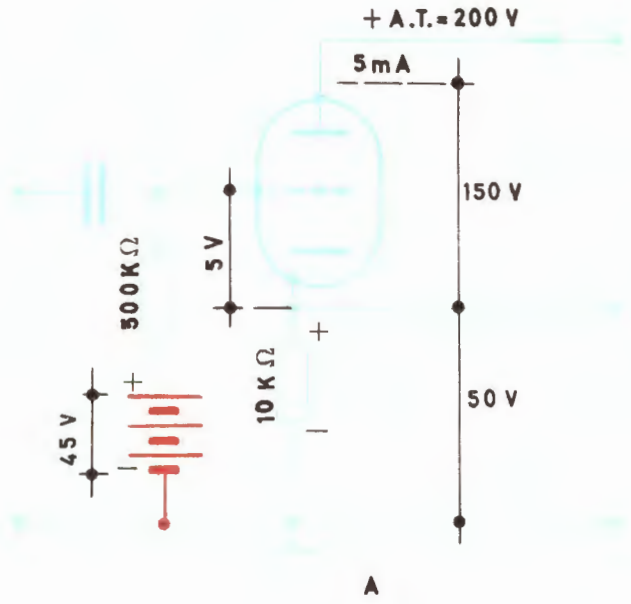
Debido a esta propiedad, el montaje que estudiamos es conocido con relativa generalización con el nombre inglés de *cathode follower*, cuya traducción literal es *cátodo seguidor*. Esta denominación hace referencia al hecho de que la tensión de cátodo vaya *siguiendo* la tensión de rejilla.

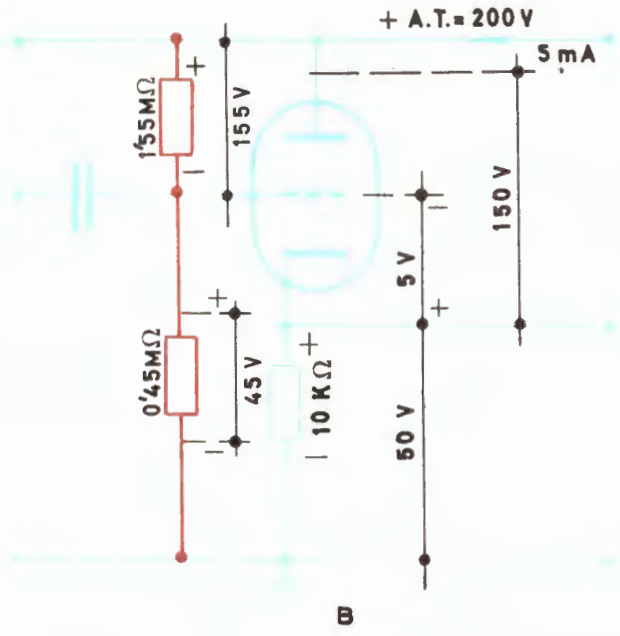
nente continua del paso anterior. Dos valores adecuados para nuestro divisor de tensión serían, por ejemplo, 1'55 MΩ y 0'45 MΩ.

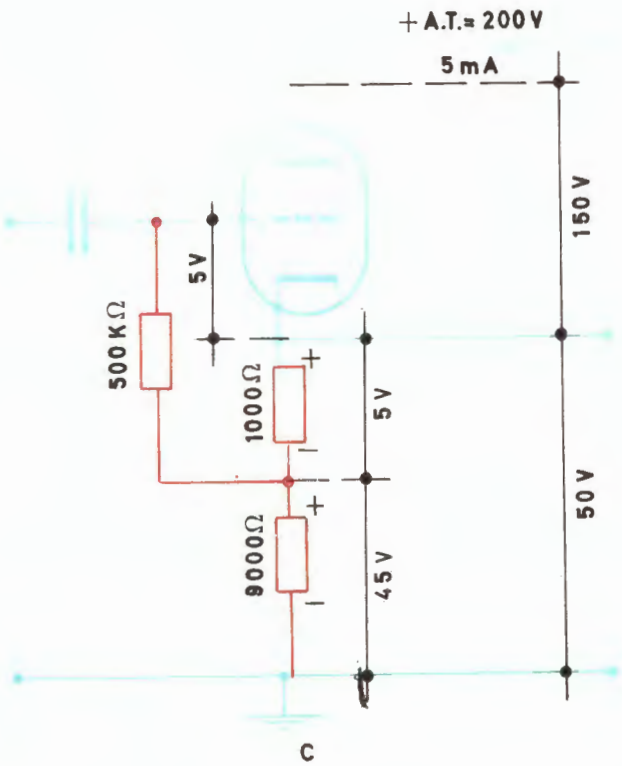
Otro método, muy práctico, consiste en obtener la tensión de polarización mediante una toma intermedia en la resistencia de cátodo.

La resistencia de carga de 10.000 Ω, conveniente al ejemplo que estamos considerando, es indudable que puede obtenerse conectando en serie una resistencia de 1.000 Ω y otra de 9.000 Ω.

En la primera aparecerá una d.d.p. de 5 V, bastando con conectar la resistencia de rejilla al punto de unión de los 1.000 Ω y 9.000 Ω para que esta d.d.p. quede aplicada entre rejilla y cátodo.







Estos son los tres sistemas posibles para obtener la polarización de un seguidor catódico cuando la resistencia de carga es grande:
A) Mediante una batería.
B) Mediante un divisor de tensión a partir de +AT.
C) Mediante una toma intermedia en la resistencia de carga.

Cualquiera de estos tres procedimientos permite aumentar la resistencia de carga hasta el valor deseado, con lo cual conseguiremos que la componente alterna de la tensión a la salida sea prácticamente igual (casi igual) a la tensión de entrada, tanto en fase como en amplitud.

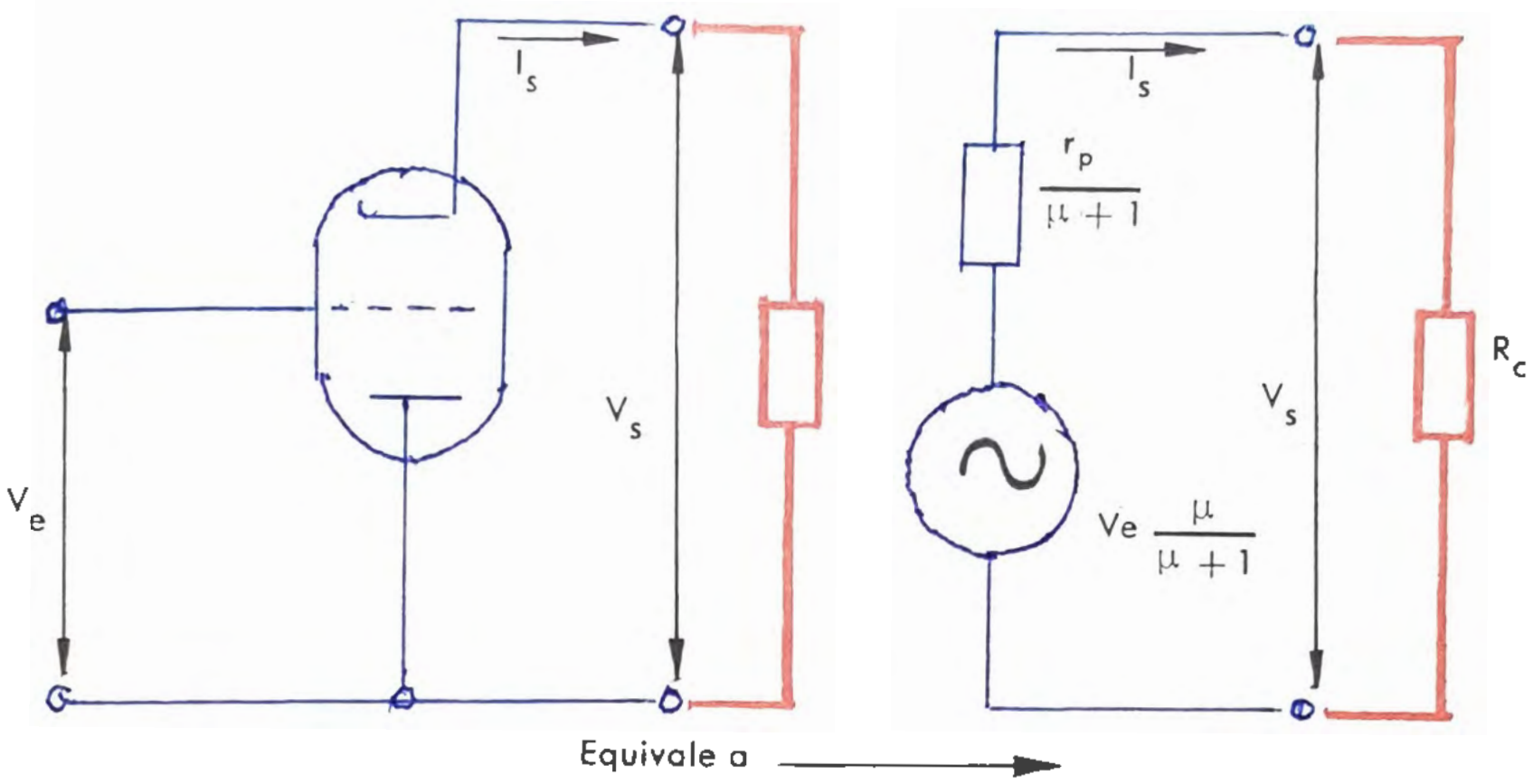
Debido a esta propiedad, el montaje que estudiamos es conocido con relativa generalización con el nombre inglés de *cathode follower*, cuya traducción literal es *cátodo seguidor*. Esta denominación hace referencia al hecho de que la tensión de cátodo vaya *siguiendo* la tensión de rejilla.

El nombre castellano con el que suele designarse el montaje es el de *seguidor catódico*.

Igual que en los otros montajes, también en el caso del seguidor catódico puede calcularse la tensión (V_s) y la intensidad (I_s) de salida que puede suministrar cuando se le aplica una tensión (V_e) a la entrada, utilizando para tal fin su circuito equivalente.

Y ¿cuál es el circuito equivalente del triodo con placa común? Digámoslo sin más tardar:

UN TRIODO CON PLACA COMÚN EQUIVALE A UN GENERADOR DE SEGUNDA ESPECIE CUYA F.E.M. SEA $E = V_e \times \frac{\mu}{\mu + 1}$ Y CUYA RESISTENCIA INTERNA SEA $R_i = \frac{r_p}{\mu + 1}$.



Circuito equivalente del triodo con placa común.

Puede advertir que la máxima tensión que podemos obtener a la salida (cuando sea $R_c = \infty$) es:

$$E = \frac{\mu}{\mu + 1} V_e$$

Este valor, por poco grande que sea μ (de diez hacia arriba), es prácticamente igual a V_e. Es decir; que, como hemos enunciado, se cumple que

$$V_e = E$$

UNA CUESTIÓN DE ESPECIAL INTERÉS es que un mismo triodo, montado con placa común o montado con cátodo común, tiene una resistencia interna mucho más pequeña en el primer caso que en el segundo.

En efecto:

Con placa común es $R_i = \frac{r_p}{\mu + 1}$

Con cátodo común es $R_i = r_p$

En este hecho radica, precisamente, la principal ventaja del seguidor catódico, ya que, según se dijo en la lección 23, para conseguir que la ganancia de un amplificador no disminuya para las frecuencias altas (debido a las capacidades parásitas) es conveniente que la resistencia de los distintos pasos amplificadores sea pequeña.

APLICACIONES DEL SEGUIDOR CATODICO

De entre las muchas aplicaciones del montaje, vamos a indicar una que consideramos de interés inmediato, puesto que en estas lecciones veníamos ocupándonos de los problemas de la reproducción del sonido.

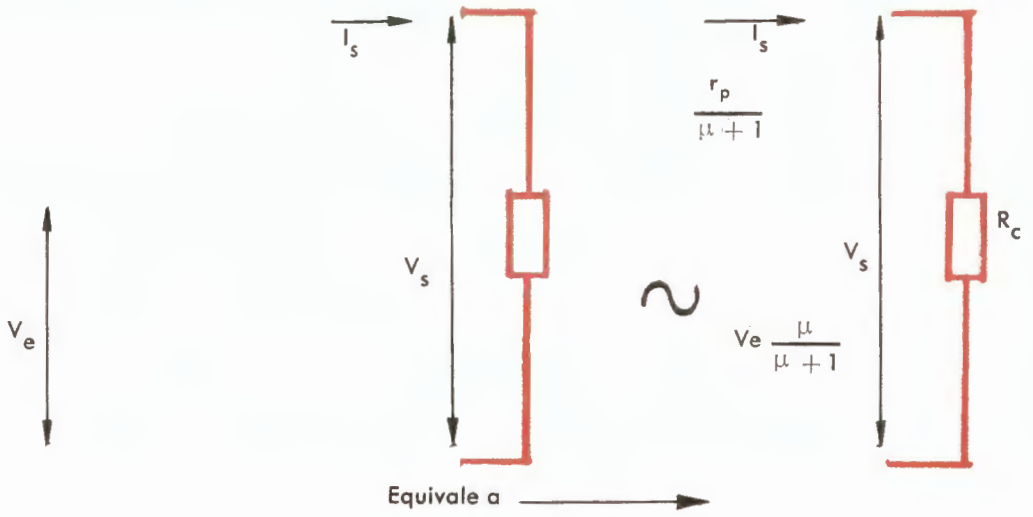
Cuando una señal muy débil, como puede ser la que procede de un micrófono, debe recorrer una larga distancia antes de llegar al amplificador, será muy conveniente utilizar cable blindado para su conducción. Con ello evitaremos ruidos en el

El nombre castellano con el que suele designarse el montaje es el de *seguidor catódico*.

Igual que en los otros montajes, también en el caso del seguidor catódico puede calcularse la tensión (V_s) y la intensidad (I_s) de salida que puede suministrar cuando se le aplica una tensión (V_e) a la entrada, utilizando para tal fin su circuito equivalente.

Y ¿cuál es el circuito equivalente del triodo con placa común? Digámoslo sin más tardar:

UN TRIODO CON PLACA COMÚN EQUIVALE A UN GENERADOR DE SEGUNDA ESPECIE CUYA F.E.M. SEA $E = V_e \times \frac{\mu}{\mu + 1}$ Y CUYA RESISTENCIA INTERNA SEA $R_i = \frac{r_p}{\mu + 1}$.



Circuito equivalente del triodo con placa común.

Puede advertir que la máxima tensión que podemos obtener a la salida (cuando sea $R_e = \infty$) es:

$$E = \frac{\mu}{\mu + 1} V_e$$

Este valor, por poco grande que sea μ (de diez hacia arriba), es prácticamente igual a V_e. Es decir; que, como hemos enunciado, se cumple que

$$V_e = E$$

UNA CUESTIÓN DE ESPECIAL INTERÉS es que un mismo triodo, montado con placa común o montado con cátodo común, tiene una resistencia interna mucho más pequeña en el primer caso que en el segundo.

En efecto:

Con placa común es $R_i = \frac{r_p}{\mu + 1}$

Con cátodo común es $R_i = r_p$

En este hecho radica, precisamente, la principal ventaja del seguidor catódico, ya que, según se dijo en la lección 23, para conseguir que la ganancia de un amplificador no disminuya para las frecuencias altas (debido a las capacidades parásitas) es conveniente que la resistencia de los distintos pasos amplificadores sea pequeña.

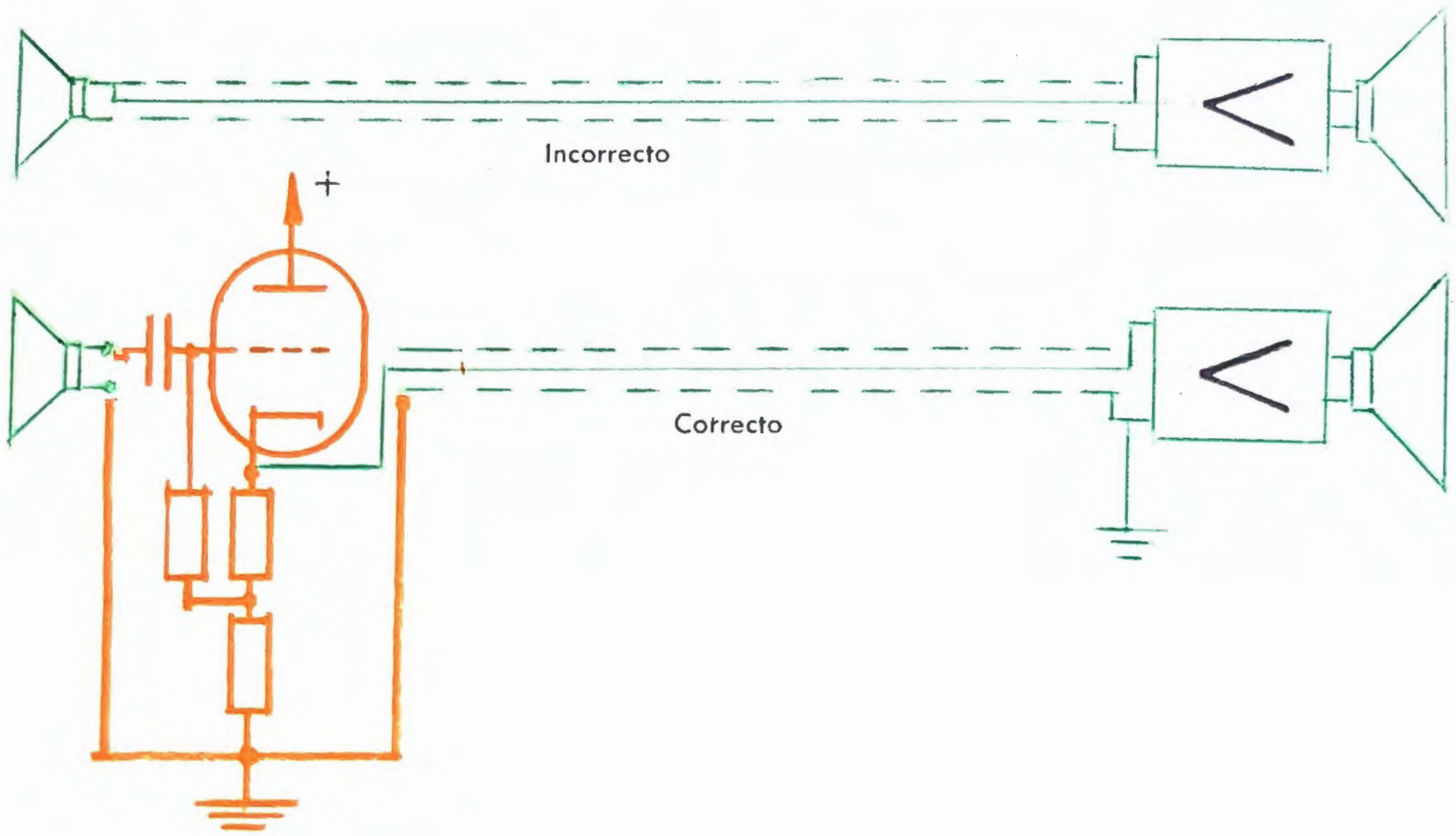
APLICACIONES DEL SEGUIDOR CATODICO

De entre las muchas aplicaciones del montaje, vamos a indicar una que consideramos de interés inmediato, puesto que en estas lecciones veníamos ocupándonos de los problemas de la reproducción del sonido.

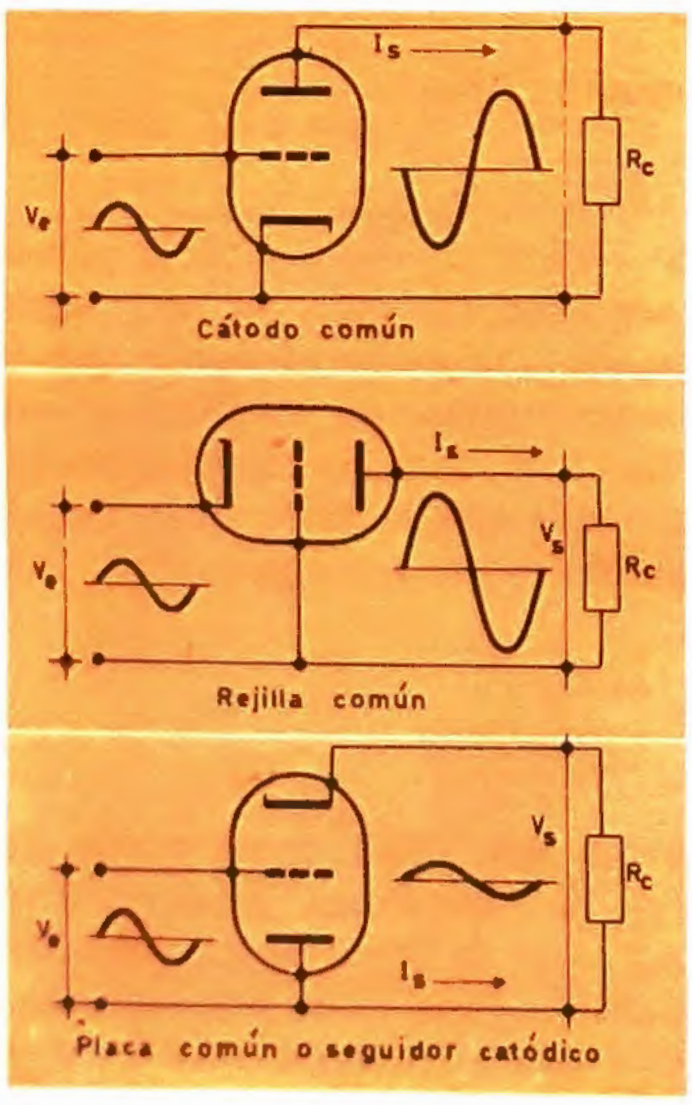
Cuando una señal muy débil, como puede ser la que procede de un micrófono, debe recorrer una larga distancia antes de llegar al amplificador, será muy conveniente utilizar cable blindado para su conducción. Con ello evitaremos ruidos en el

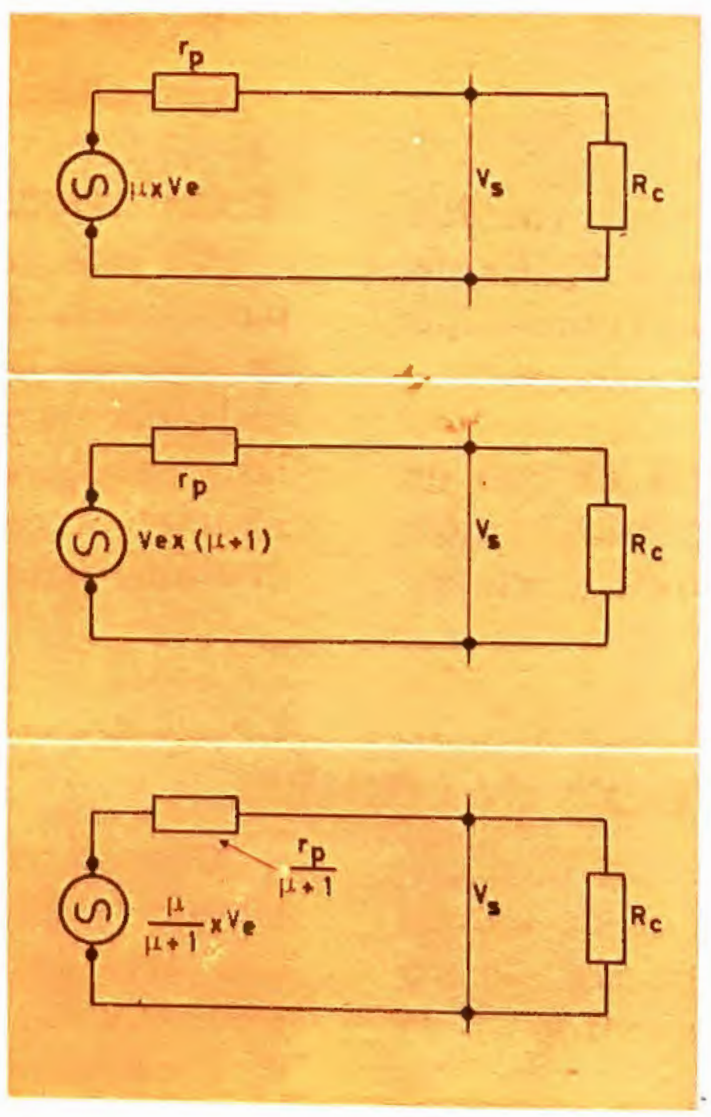
altavoz. Sin embargo, el cable blindado tiene la desventaja de presentar una gran capacidad parásita, con el consiguiente riesgo de que las frecuencias más agudas queden notablemente alteradas al derivar por esta capacidad.

Este inconveniente se evita colocando un triodo con placa común al lado mismo del micrófono. El triodo y su fuente de alimentación se incluyen en una pequeña caja metálica. De esta forma las señales llegan inalteradas al amplificador.



Terminamos la cuestión de los tres montajes posibles del triodo, añadiendo un cuadro donde se resumen las características fundamentales de cada uno de ellos.

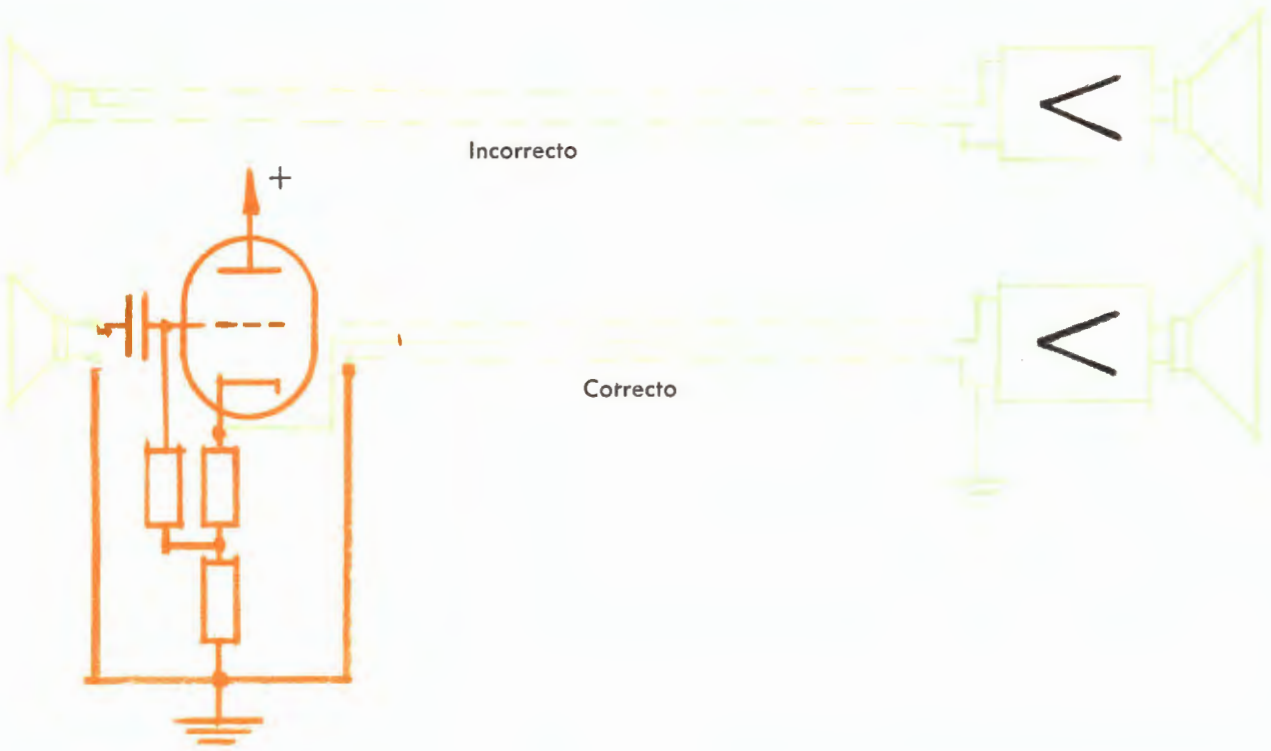




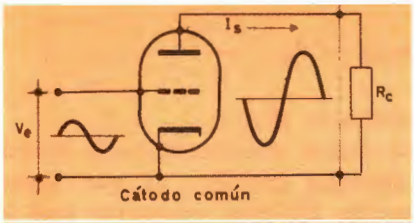
Cátodo común	Elevada ganancia de tensión. Buena sensibilidad de potencia e intensidad. Gran resistencia interna de salida (r_p). No circula corriente a la entrada. V_s y V_e en oposición de fase. Es el montaje más utilizado.
Rejilla común	Ganancia de tensión un poco mayor que en el montaje anterior. Principal inconveniente: circula corriente a la entrada. Excelente como amplificador para frecuencias muy altas. V_e y V_s están en fase.
Placa común o seguidor catódico	No circula corriente a la entrada. Su inconveniente: no amplifica la tensión. Su ventaja: muy baja resistencia interna de salida. V_e y V_s están en fase.

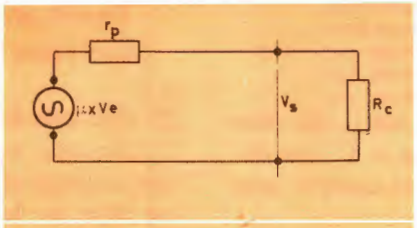
altavoz. Sin embargo, el cable blindado tiene la desventaja de presentar una gran capacidad parásita, con el consiguiente riesgo de que las frecuencias más agudas queden notablemente alteradas al derivar por esta capacidad.

Este inconveniente se evita colocando un triodo con placa común al lado mismo del micrófono. El triodo y su fuente de alimentación se incluyen en una pequeña caja metálica. De esta forma las señales llegan inalteradas al amplificador.

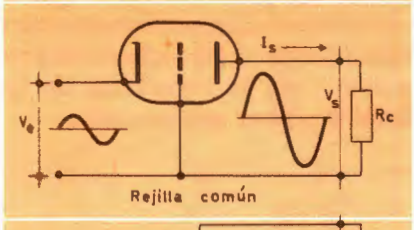


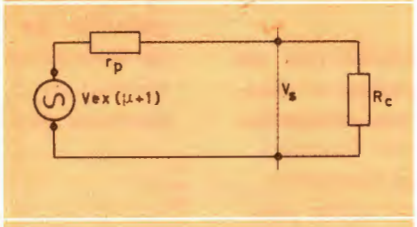
Terminamos la cuestión de los tres montajes posibles del triodo, añadiendo un cuadro donde se resumen las características fundamentales de cada uno de ellos.



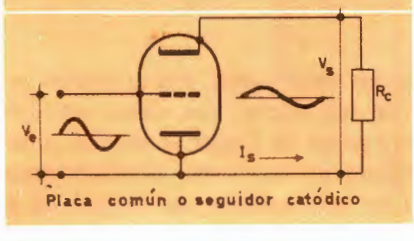


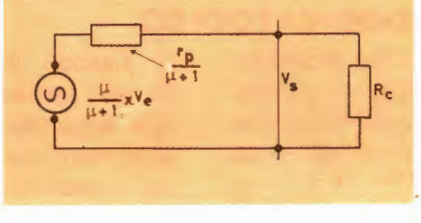
Elevada ganancia de tensión.
Buena sensibilidad de potencia e intensidad.
Gran resistencia interna de salida (r_p).
No circula corriente a la entrada.
V_s y V_e en oposición de fase.
Es el montaje más utilizado.





Ganancia de tensión un poco mayor que en el montaje anterior.
Principal inconveniente: circula corriente a la entrada.
Excelente como amplificador para frecuencias muy altas.
V_e y V_s están en fase.





No circula corriente a la entrada.
Su inconveniente: no amplifica la tensión.
Su ventaja: muy baja resistencia interna de salida.
V_e y V_s están en fase.

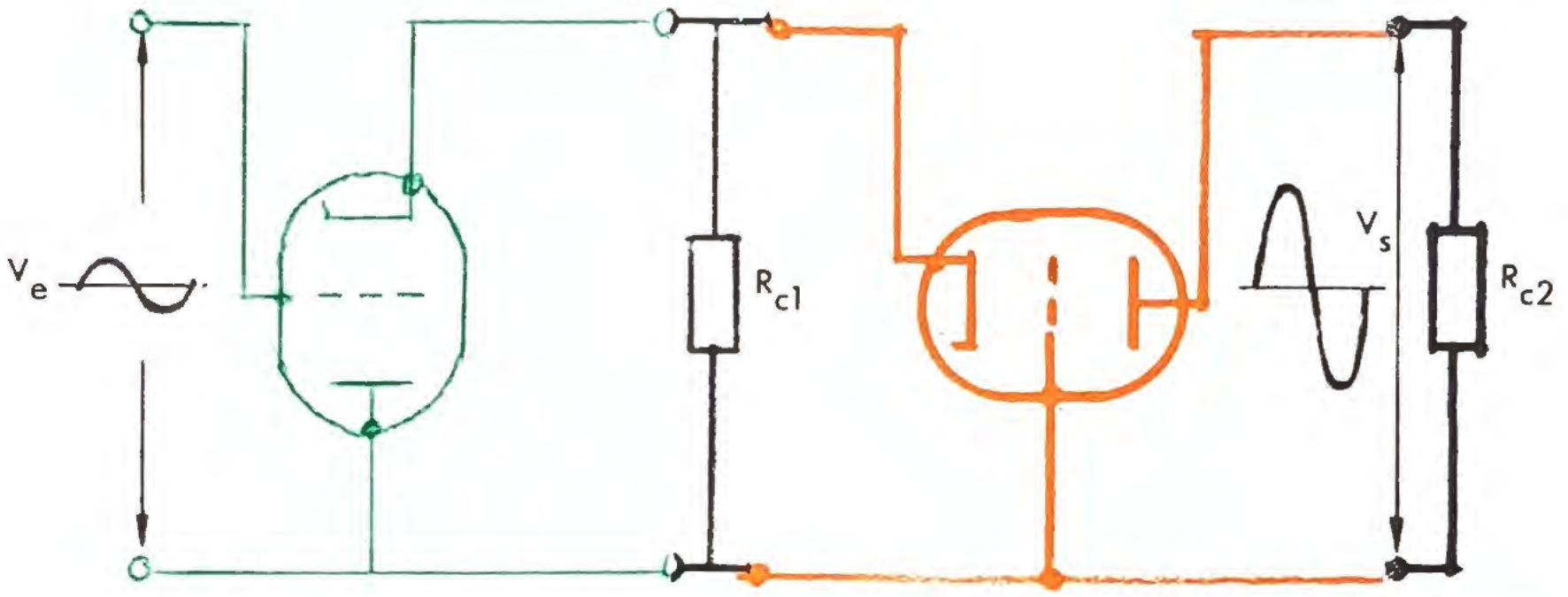
AMPLIFICADOR DE DOS PASOS ACOPLADOS POR CATODO

Es inmediato pensar que con los nuevos tipos de montajes que acabamos de estudiar será factible construir amplificadores de varias etapas. Si así se hace en el montaje de los triodos con cátodo común, no hay razón para no proceder de forma similar en los dos montajes que restan.

Es frecuente encontrar dispositivos electrónicos de amplificación en cuyas etapas se alternan los montajes descritos.

Vea un ejemplo:

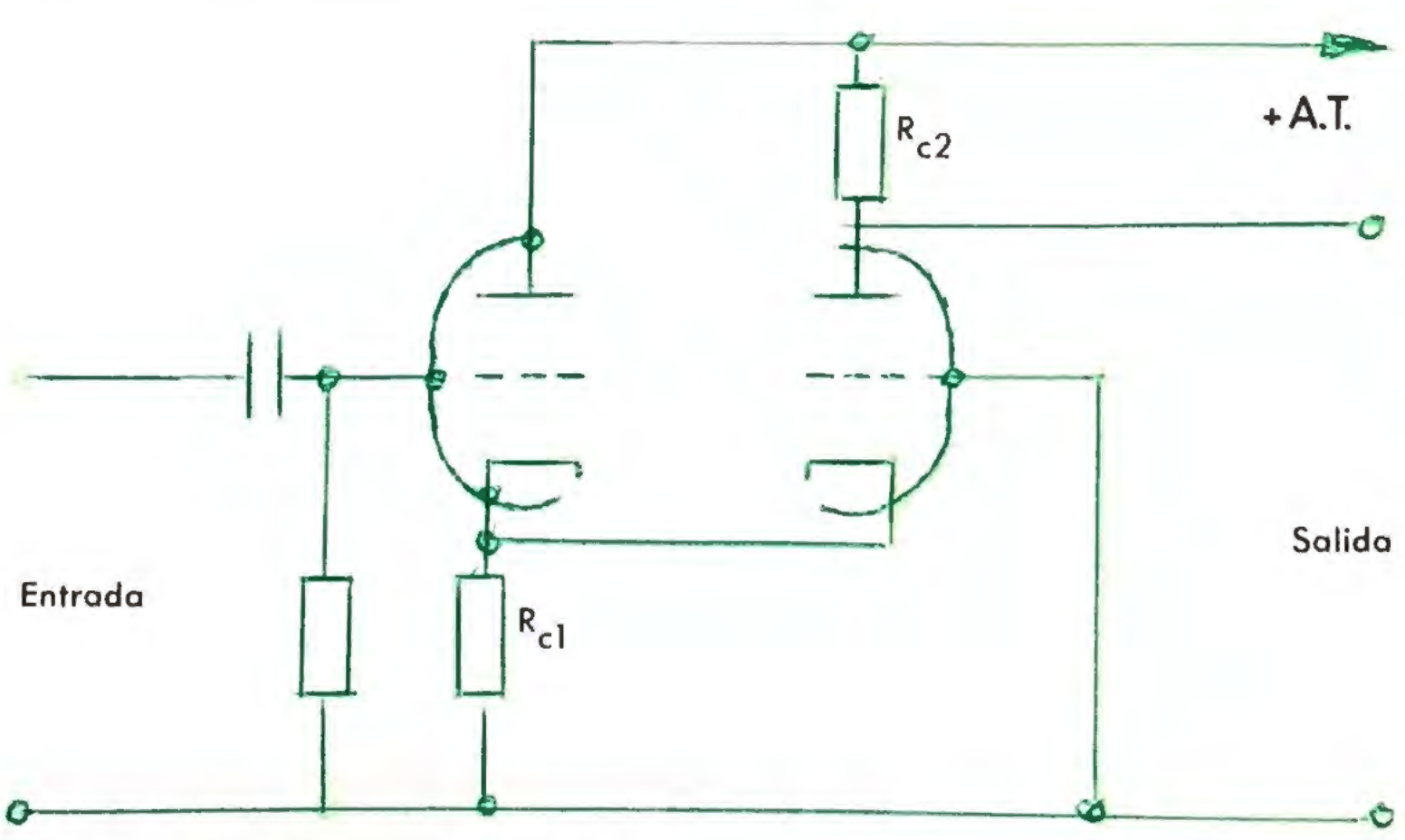
Se trata del esquema simbólico de un amplificador de dos pasos, el primero con el triodo montado con placa común y el segundo con un triodo con rejilla común.



Esquema simbólico de un amplificador de dos pasos acoplados por cátodo. V_s y V_e están en fase.

El esquema de principio de este amplificador permite observar que los cátodos de ambos triodos están unidos entre sí, razón por la que este acoplamiento entre dos pasos recibe el nombre de ACOPLAMIENTO POR CÁTODO.

En la práctica, y puesto que existen válvulas dobles triodos, es lógico que los amplificadores cuyo esquema de principio responde al que hemos dibujado se monten con una de estas válvulas. Además se procura que la resistencia R_{c1}, que es la de carga del primer paso, pueda polarizar correctamente ambos triodos a la vez.



Esquema real de un amplificador de dos pasos acoplados por cátodo.

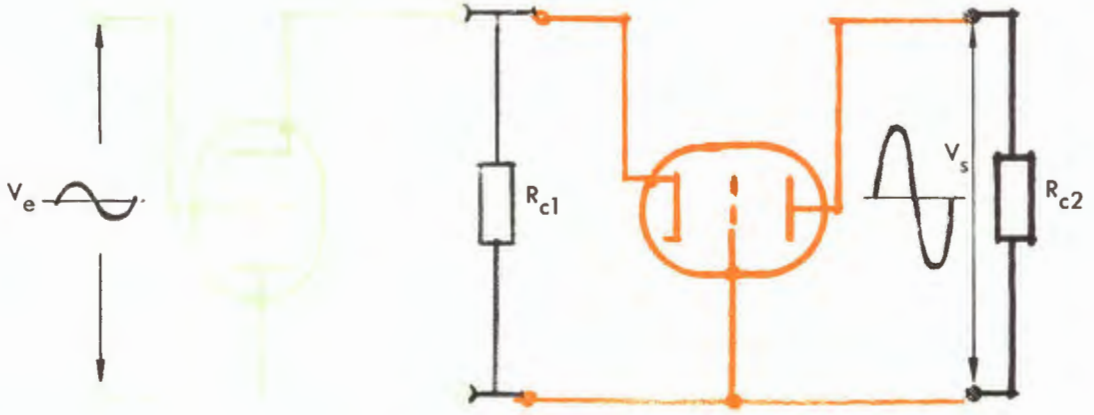
AMPLIFICADOR DE DOS PASOS ACOPLADOS POR CATODO

Es inmediato pensar que con los nuevos tipos de montajes que acabamos de estudiar será factible construir amplificadores de varias etapas. Si así se hace en el montaje de los triodos con cátodo común, no hay razón para no proceder de forma similar en los dos montajes que restan.

Es frecuente encontrar dispositivos electrónicos de amplificación en cuyas etapas se alternan los montajes descritos.

Vea un ejemplo:

Se trata del esquema simbólico de un amplificador de dos pasos, el primero con el triodo montado con placa común y el segundo con un triodo con rejilla común.



Esquema simbólico de un amplificador de dos pasos acoplados por cátodo. V_s y V_e están en fase.

El esquema de principio de este amplificador permite observar que los cátodos de ambos triodos están unidos entre sí, razón por la que este acoplamiento entre dos pasos recibe el nombre de ACOPLAMIENTO POR CÁTODO.

En la práctica, y puesto que existen válvulas dobles triodos, es lógico que los amplificadores cuyo esquema de principio responde al que hemos dibujado se monten con una de estas válvulas. Además se procura que la resistencia R_{c1}, que es la de carga del primer paso, pueda polarizar correctamente ambos triodos a la vez.

Esquema real de un amplificador de dos pasos acoplados por cátodo.

El primer paso de este amplificador (triodo con placa común) no aumenta la amplitud de la señal, cosa que sólo consigue el segundo paso. En consecuencia, la ganancia del montaje será la misma que conseguiríamos con un solo triodo montado con cátodo común; prácticamente debe considerarse así. Sin embargo, este amplificador tiene la ventaja de que conserva el valor de la ganancia para las señales de alta frecuencia.

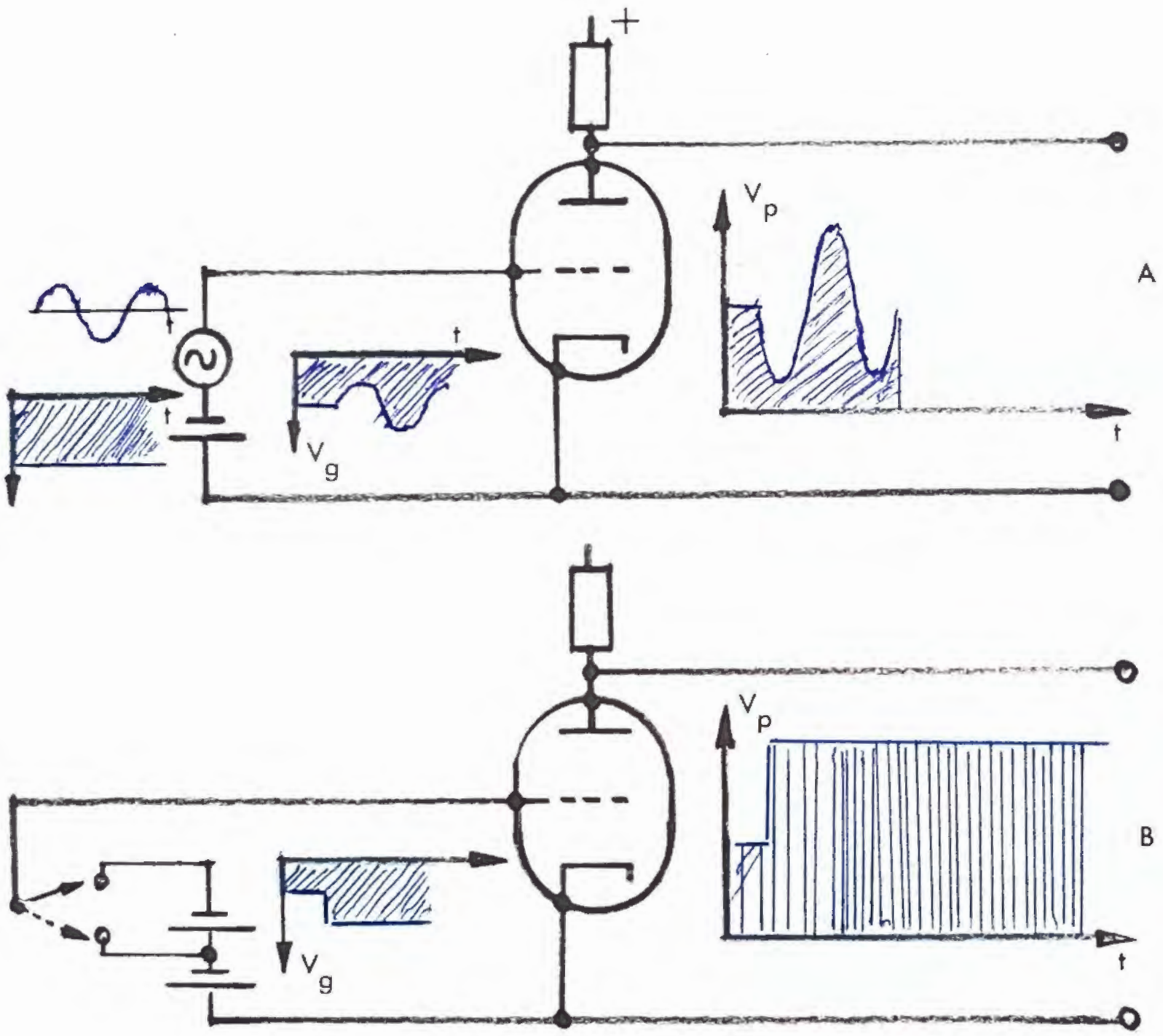
Puesto que en ninguno de los dos pasos se invierte la fase de las señales, la entrada y la salida estarán en concordancia de fase.

AMPLIFICADORES DE VARIAS ETAPAS PARA CORRIENTE CONTINUA

Con este título empezamos una nueva temática de positivo interés teórico-práctico: el estudio de los amplificadores para corriente continua.

En las lecciones 15 y 16 pusimos de manifiesto con absoluta claridad que *un solo triodo* es capaz de amplificar tanto las señales continuas como las alternas. Recuerde la razón de que así sea.

Cualquier variación de la tensión de rejilla, sea momentánea o permanente, proporciona otra variación en la tensión o intensidad de placa, variación que se mantiene mientras dure la alteración de la tensión de rejilla que la motiva.



La figura A indica cómo el triodo es capaz de amplificar una señal alterna. En la figura B se indica cómo una variación permanente de la tensión de rejilla da lugar a otra variación permanente en la tensión de placa. El triodo es apto para amplificar señales continuas.

El primer paso de este amplificador (triodo con placa común) no aumenta la amplitud de la señal, cosa que sólo consigue el segundo paso. En consecuencia, la ganancia del montaje será la misma que conseguiríamos con un solo triodo montado con cátodo común; prácticamente debe considerarse así. Sin embargo, este amplificador tiene la ventaja de que conserva el valor de la ganancia para las señales de alta frecuencia.

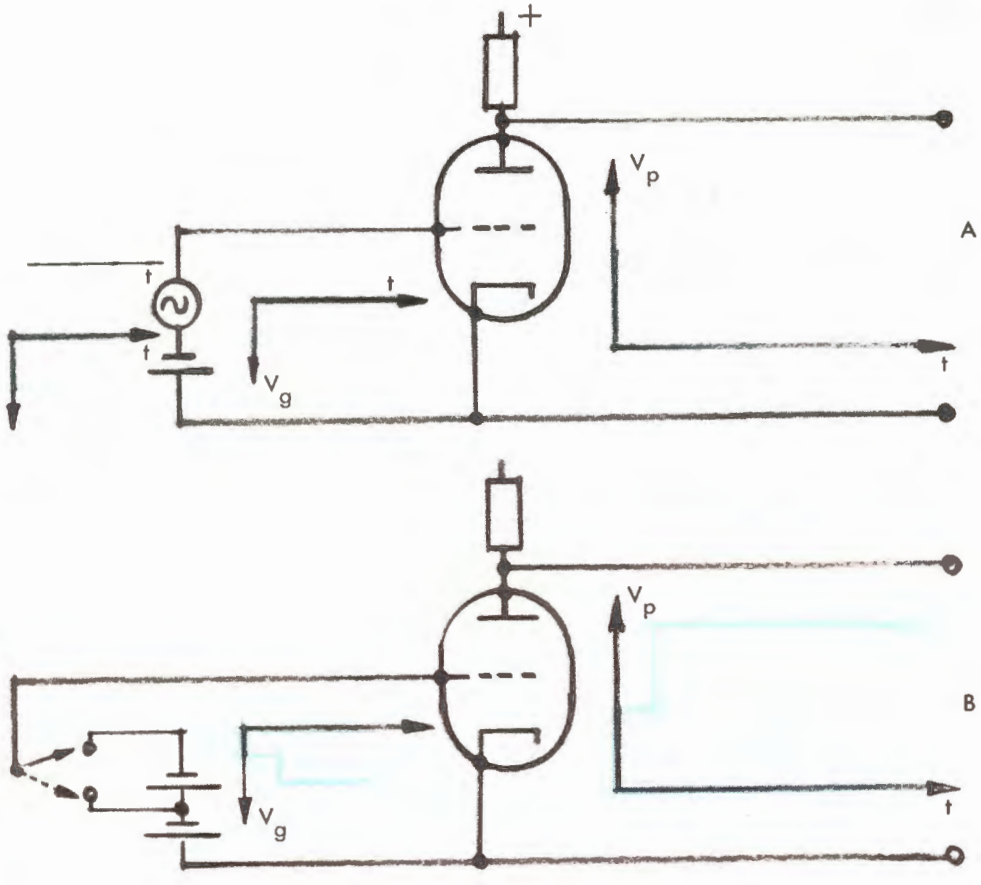
Puesto que en ninguno de los dos pasos se invierte la fase de las señales, la entrada y la salida estarán en concordancia de fase.

AMPLIFICADORES DE VARIAS ETAPAS PARA CORRIENTE CONTINUA

Con este título empezamos una nueva temática de positivo interés teórico-práctico: el estudio de los amplificadores para corriente continua.

En las lecciones 15 y 16 pusimos de manifiesto con absoluta claridad que *un solo triodo* es capaz de amplificar tanto las señales continuas como las alternas. Recuerde la razón de que así sea.

Cualquier variación de la tensión de rejilla, sea momentánea o permanente, proporciona otra variación en la tensión o intensidad de placa, variación que se mantiene mientras dure la alteración de la tensión de rejilla que la motiva.



La figura A indica cómo el triodo es capaz de amplificar una señal alterna. En la figura B se indica cómo una variación permanente de la tensión de rejilla da lugar a otra variación permanente en la tensión de placa. El triodo es apto para amplificar señales continuas.

El problema que hasta ahora nos ha preocupado con preferencia, y cuya solución ya hemos encontrado, es el de la amplificación de señales alternas; y más concretamente, de las señales alternas de valor medio nulo.

Sin embargo, aunque con menor frecuencia, se presenta el problema de la amplificación de señales variables cuyo valor medio no es nulo, lo que ocurre, por ejemplo, en los receptores de TV.

En otras ocasiones se hace necesario amplificar señales continuas rigurosamente uniformes a fin de poder medirlas.

En cualquier caso, dado que una señal variable de valor medio no nulo tiene una componente continua, los amplificadores que se destinan a la amplificación de este tipo de señales deben ser capaces de amplificar señales continuas.

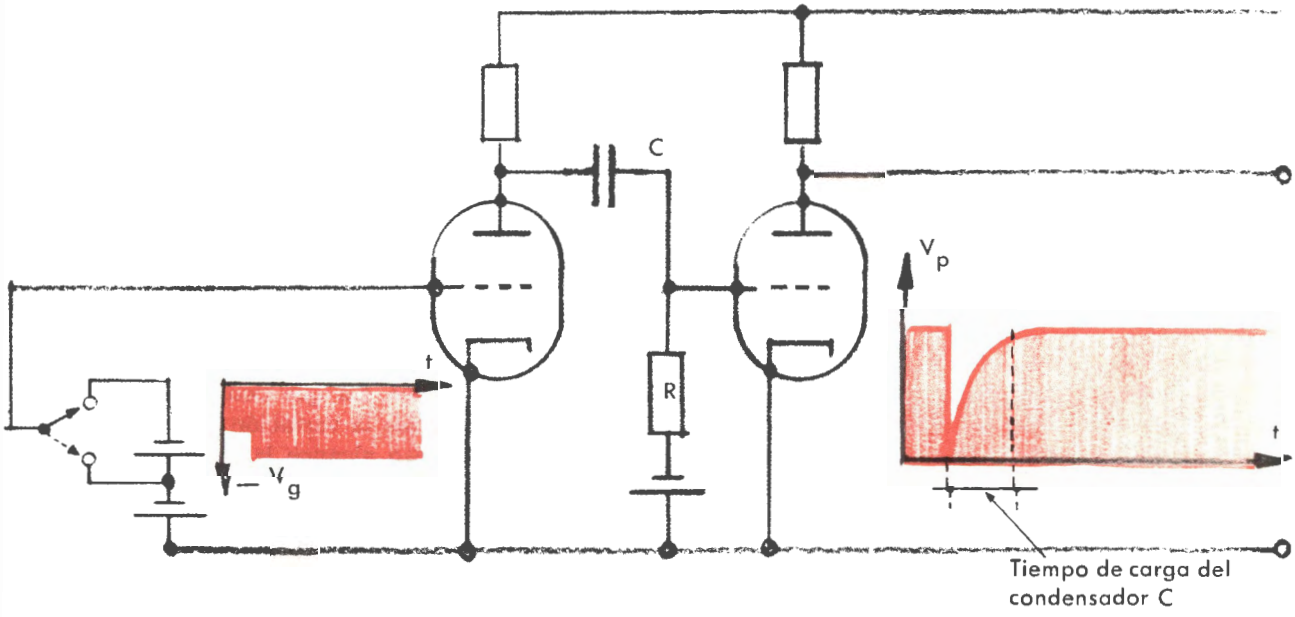
Cuando la amplificación requerida puede obtenerse con un solo triodo, no hay, en realidad, ningún problema.

Pero ¿qué ocurrirá cuando se necesite una ganancia imposible de conseguir con una sola etapa...? En este caso el problema es mucho más agudo, puesto que los distintos pasos de un amplificador para señales continuas deberán estar acoplados de alguna forma; y lo cierto es que ni un acoplamiento por transformador ni un acoplamiento por resistencia-condensador nos servirán para tal fin, puesto que su característica es, precisamente, la de eliminar la componente continua de las señales con valor medio no nulo.

Analicemos con calma el problema.

Consideremos un amplificador de dos pasos (vea la próxima figura) cuyo acoplamiento es del tipo RC. Al accionar el conmutador de la entrada aumenta la tensión negativa aplicada a la rejilla del primer triodo, con lo cual aumenta el potencial positivo de su placa. Hasta aquí el proceso es correcto; pero el aumento del potencial de placa en el primer triodo sólo se transmitirá a la rejilla del segundo en tanto dure el proceso de carga del condensador de acoplamiento. Una vez el condensador esté cargado (lo cual ocurre con gran rapidez), la rejilla del segundo triodo quedará sometida únicamente al potencial debido a la pila de polarización.

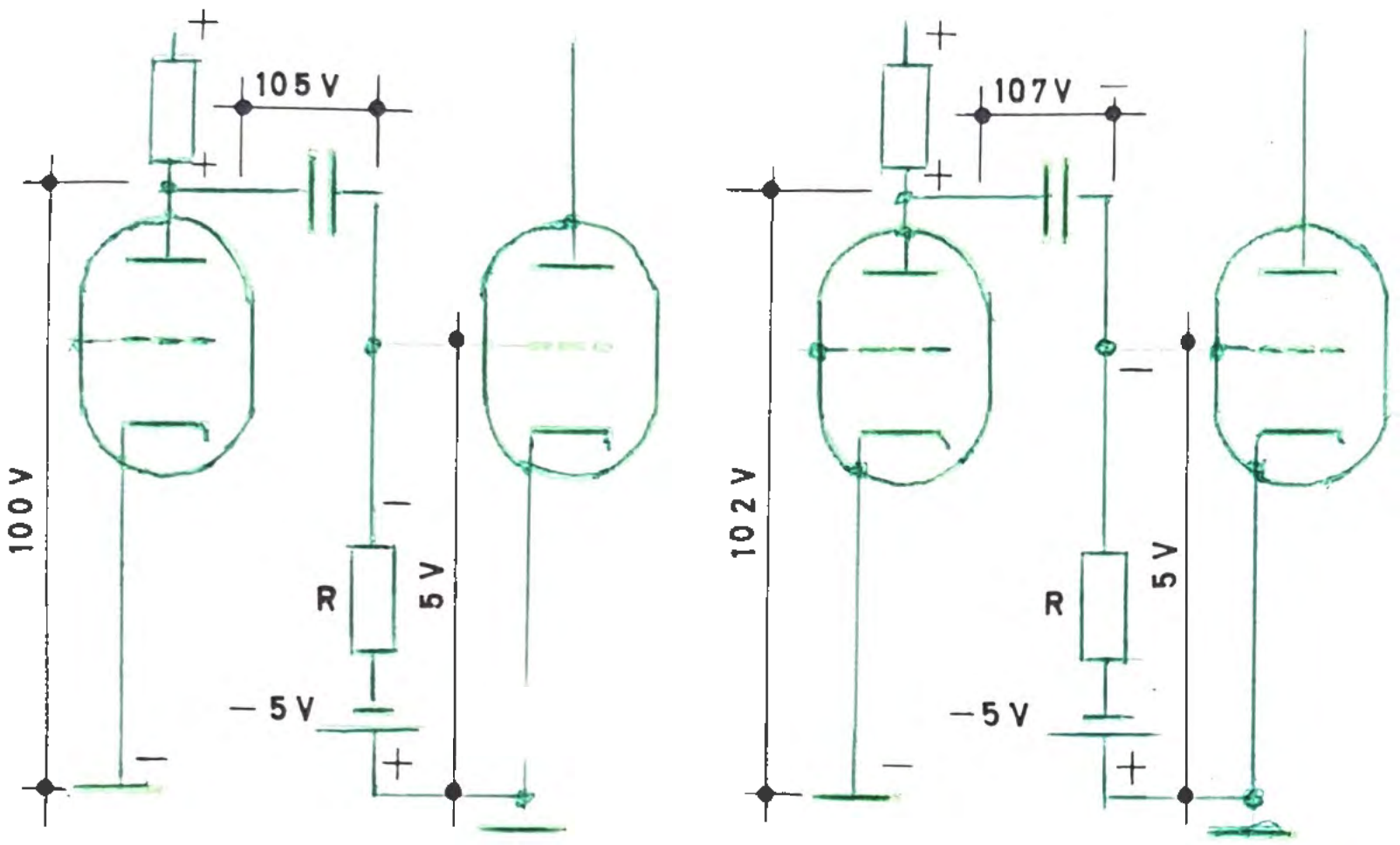
La alteración en la placa, pues, ha sido tan sólo momentanea



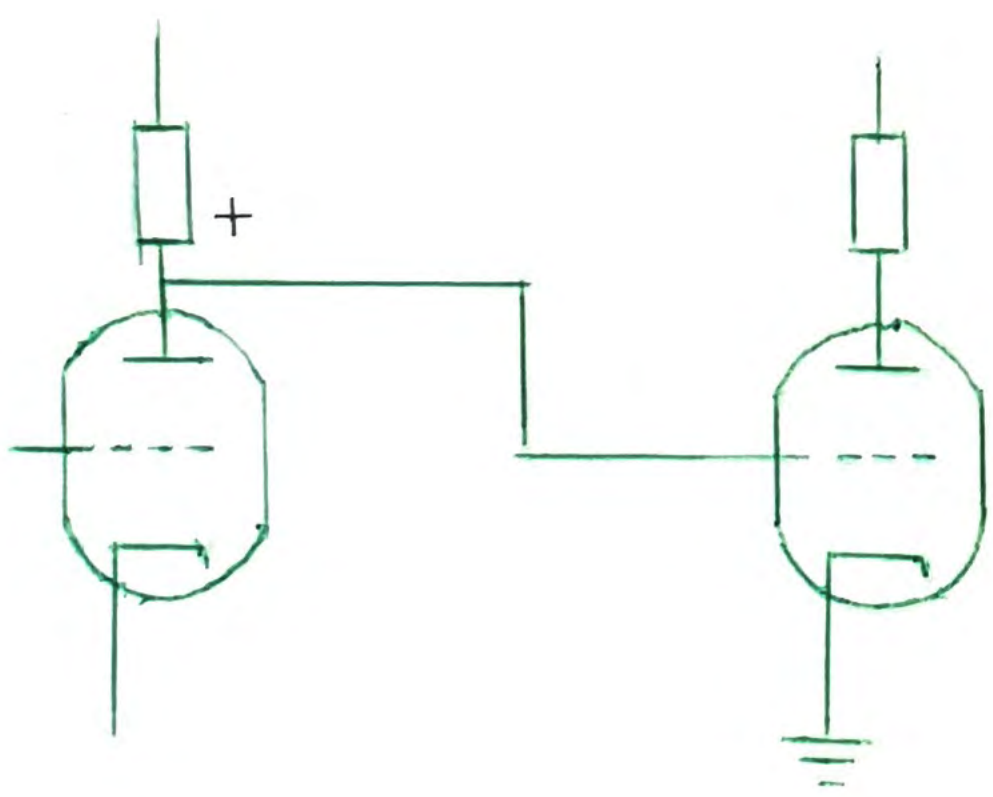
Al aplicar una señal continua a la entrada de un amplificador de dos pasos con acoplamiento RC, sólo durante un breve instante (mientras se carga el condensador) aparece señal a la salida. Después, la tensión de placa del último paso vuelve a su estado inicial.

Vamos a considerar unos valores determinados, suponiendo que la placa del primer triodo tenía, antes de accionar el conmutador, un potencial de + 100 V.

Accionamos el conmutador y la tensión V_p del primer triodo asciende a + 102 V, lo cual representa un aumento de 2 V que se aplica exclusivamente al condensador C.



Cualquier variación permanente en la tensión de placa del primer triodo queda íntegramente aplicada a 1 condensador de acoplamiento sin que se transmita a la rejilla del segundo triodo. Sin embargo, al aumentar la d.d.p. aplicada al condensador (2 V en el caso de la figura) aumenta su carga, aumento que hace circular una corriente por la resistencia R durante el breve tiempo de la carga. Esta corriente es la causa del pico que aparece a la salida.



Esta solución es improcedente por la simple razón de que hace positiva la rejilla del segundo paso.

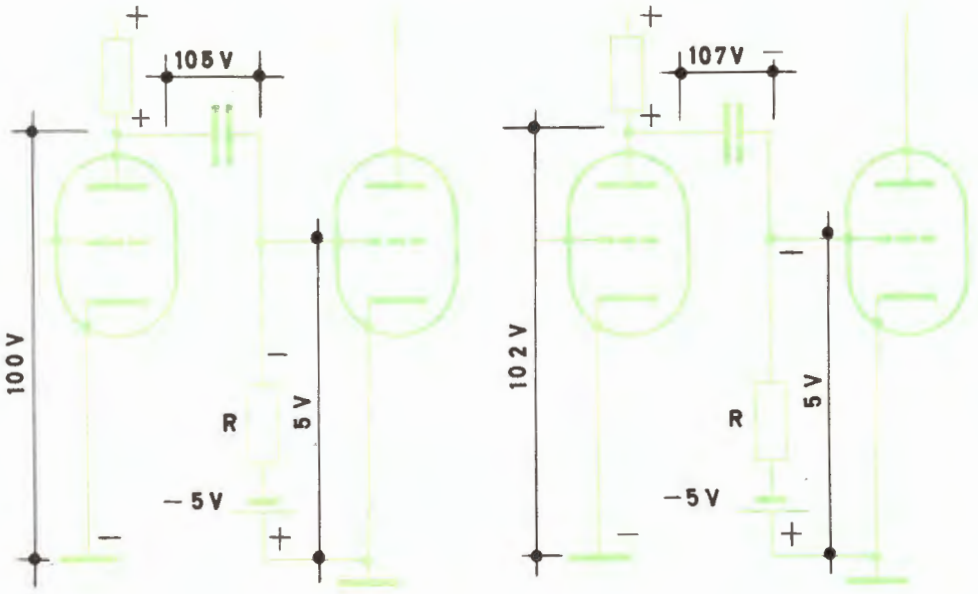
Para conseguir que la variación permanente de la tensión de placa del primer triodo alcance la rejilla del segundo paso existe una solución que podemos calificar de drástica: utilizar un simple conductor en vez del condensador que relaciona los dos electrodos. Lo que ocurre es que si bien conseguiremos que la variación permanente de V_p en el primer paso alcance la rejilla del segundo, también conseguiremos que la rejilla se haga mucho más positiva de lo que conviene a una polarización adecuada.

Buscando solución al problema, se nos ocurre pensar que una batería con la adecuada tensión entre sus bornes puede representar una de las que esperamos encontrar. En efecto:

Si agregamos a nuestro montaje una batería de 105 V, cuyo positivo esté unido a la placa del primer triodo y su negativo a la rejilla del segundo, no sólo obtendremos una polarización correcta (puesto que dicha rejilla estará sometida a un

Vamos a considerar unos valores determinados, suponiendo que la placa del primer triodo tenía, antes de accionar el conmutador, un potencial de + 100 V.

Accionamos el conmutador y la tensión V_p del primer triodo asciende a + 102 V, lo cual representa un aumento de 2 V que se aplica exclusivamente al condensador C.



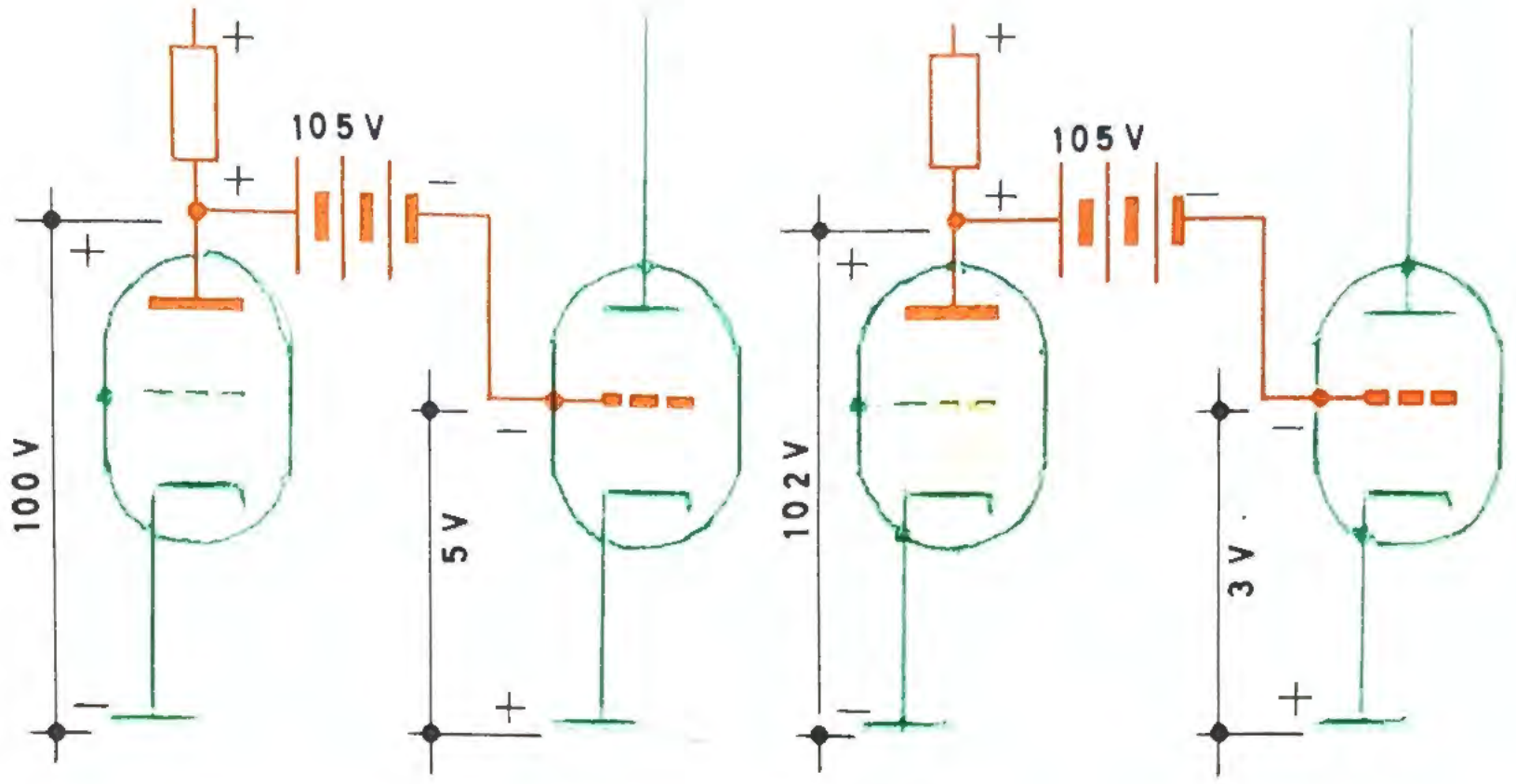
Cualquier variación permanente en la tensión de placa del primer triodo queda íntegramente aplicada a 1 condensador de acoplamiento sin que se transmita a la rejilla del segundo triodo. Sin embargo, al aumentar la d.d.p. aplicada al condensador (2 V en el caso de la figura) aumenta su carga, aumento que hace circular una corriente por la resistencia R durante el breve tiempo de la carga. Esta corriente es la causa del pico que aparece a la salida.

Esta solución es improcedente por la simple razón de que hace positiva la rejilla del segundo paso.

Para conseguir que la variación permanente de la tensión de placa del primer triodo alcance la rejilla del segundo paso existe una solución que podemos calificar de drástica: utilizar un simple conductor en vez del condensador que relaciona los dos electrodos. Lo que ocurre es que si bien conseguiremos que la variación permanente de V_p en el primer paso alcance la rejilla del segundo, también conseguiremos que la rejilla se haga mucho más positiva de lo que conviene a una polarización adecuada.

Buscando solución al problema, se nos ocurre pensar que una batería con la adecuada tensión entre sus bornes puede representar una de las que esperamos encontrar. En efecto:

Si agregamos a nuestro montaje una batería de 105 V, cuyo positivo esté unido a la placa del primer triodo y su negativo a la rejilla del segundo, no sólo obtendremos una polarización correcta (puesto que dicha rejilla estará sometida a un



Efectuando el acoplo mediante una batería es posible conseguir una polarización correcta y, además, la posibilidad de amplificar señales continuas.

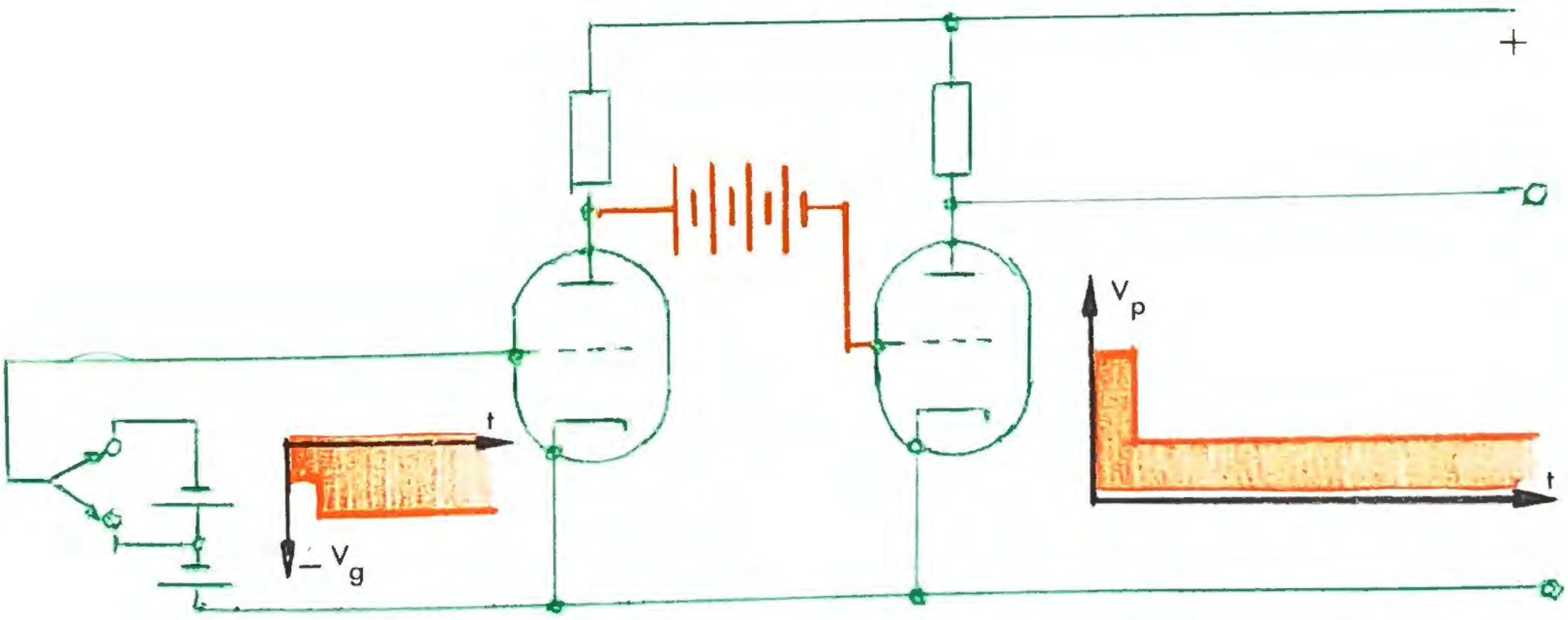
potencial de 100 — 105 = — 5 V), sino que también obtendremos la posibilidad de que cualquier variación permanente producida en la tensión de placa del primer triodo se transmita a la rejilla del segundo.

La batería de acoplamiento no debe suministrar corriente, con lo cual tendrá una duración muy prolongada, lo que no deja de ser una ventaja. Sin embargo, este tipo de acoplo tiene la gran desventaja del precio y volumen de la batería. No es, en absoluto, un sistema aconsejable.

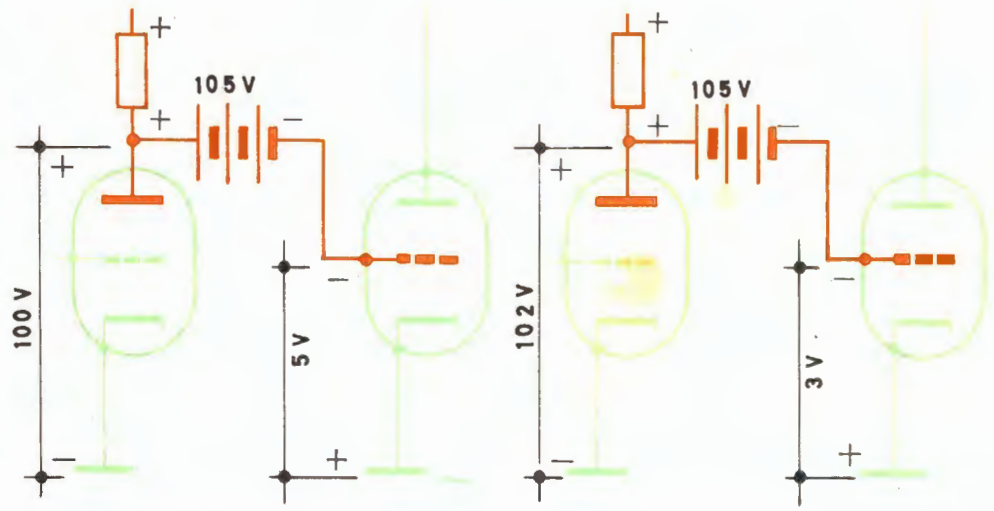
Ante una gran dificultad, naturalmente, aparece siempre el antídoto, una solución que es mejor.

Una forma de acoplamiento entre los dos pasos del amplificador para señales continuas es la que idearon los americanos Loftin y White. Veamos en qué consiste tal solución:

En el amplificador de Loftin y White la placa del primer paso se une a la rejilla del segundo *por medio de un conductor*. Pero en este amplificador, para evitar el inconveniente que apuntábamos antes (que la rejilla se haga positiva respecto



Amplificador de dos etapas para corrientes continuas con acoplamiento por batería. Esquema de principio.



Efectuando el acoplo mediante una batería es posible conseguir una polarización correcta y, además, la posibilidad de amplificar señales continuas.

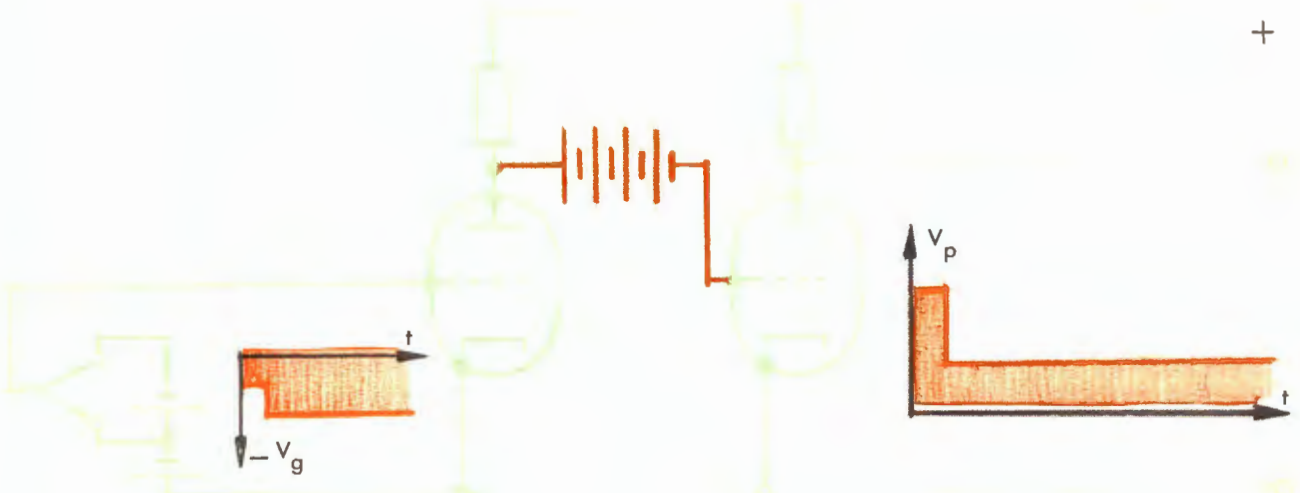
potencial de $100 - 105 = -5$ V), sino que también obtendremos la posibilidad de que cualquier variación permanente producida en la tensión de placa del primer triodo se transmita a la rejilla del segundo.

La batería de acoplamiento no debe suministrar corriente, con lo cual tendrá una duración muy prolongada, lo que no deja de ser una ventaja. Sin embargo, este tipo de acoplo tiene la gran desventaja del precio y volumen de la batería. No es, en absoluto, un sistema aconsejable.

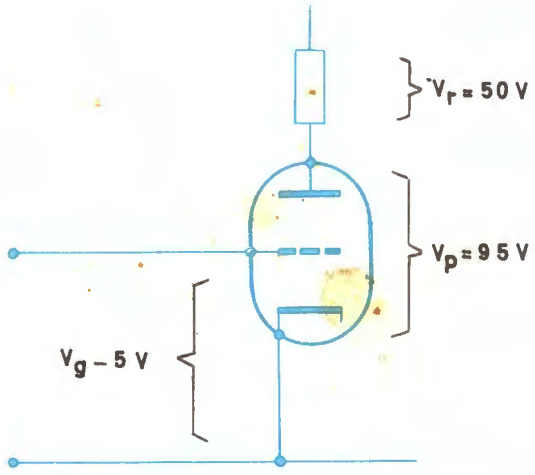
Ante una gran dificultad, naturalmente, aparece siempre el antídoto, una solución que es mejor.

Una forma de acoplamiento entre los dos pasos del amplificador para señales continuas es la que idearon los americanos Loftin y White. Veamos en qué consiste tal solución:

En el amplificador de Loftin y White la placa del primer paso se une a la rejilla del segundo *por medio de un conductor*. Pero en este amplificador, para evitar el inconveniente que apuntábamos antes (que la rejilla se haga positiva respecto



Amplificador de dos etapas para corrientes continuas con acoplamiento por batería. Esquema de principio.



Esquema de principio de uno de los dos pasos amplificadores. Cada paso necesita una tensión de polarización $V_g = -5$ C. La tensión de placa es $V_p = 95$ V y la caída en la resistencia de carga es $V_R = 50$ V.

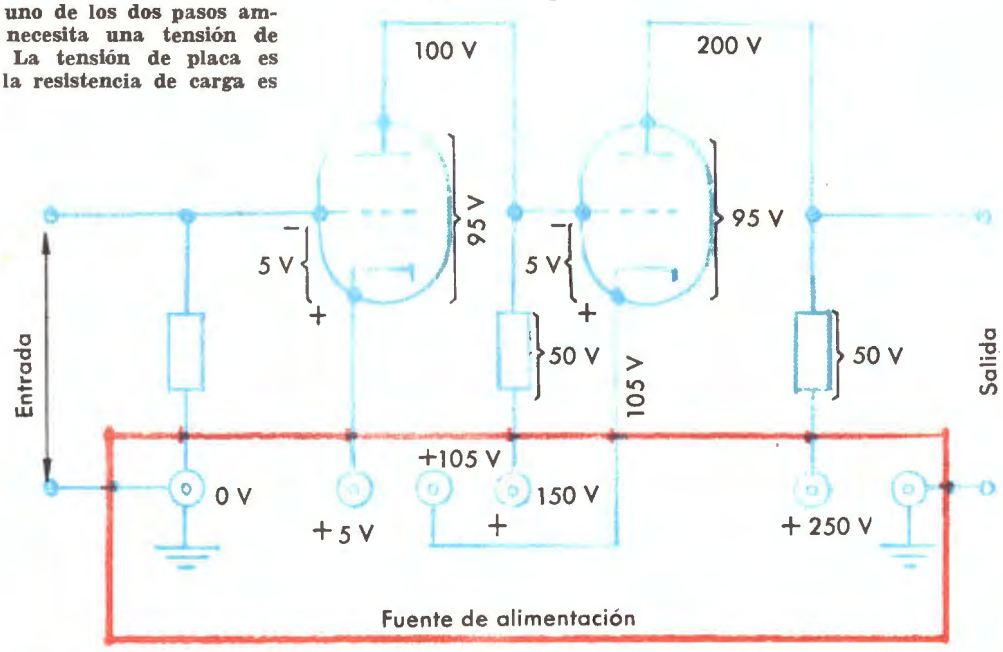
al cátodo), se proporciona al cátodo un potencial aún más positivo que el que va a tener la rejilla cuando reciba la señal procedente de la placa a la que está conectada.

Para conseguir este potencial de cátodo, la fuente de alimentación está provista de una serie de tomas con diversos potenciales.

Ilustremos el procedimiento con un ejemplo concreto:

Vamos a suponer que deseamos *acoplar en continua* (anote esta expresión profesional) dos pasos amplificadores de tensión de iguales características.

La solución de Loftin-White queda indicada en el esquema siguiente:



Amplificador para corriente continua acoplado por el sistema Loftin-White.

Habrá observado que los potenciales a que trabajan los electrodos del segundo paso tienen un valor absoluto distinto del de los potenciales de los electrodos del primer paso. Sin embargo, los potenciales relativos entre los diversos electrodos — que son, en definitiva, los que determinan el funcionamiento de la válvula — son idénticos en ambos pasos.

En el montaje Loftin-White el amplificador en sí es más sencillo; pero esta simplificación tiene la contrapartida de la mayor complejidad que forzosamente debe tener la fuente de alimentación.

Esta complicación no tan sólo se debe al hecho de que la fuente deba suministrar mayor diversidad de tensiones, sino, sobre todo, a la necesidad de que tales tensiones sean rigurosamente constantes. Tenga en cuenta que al variar (por la causa que fuese) la tensión de 105 V que alimenta la placa del primer triodo, también varía la tensión de la rejilla que va unida a ella, con lo cual aparecería una señal de salida sin que se hubiese aplicado una señal a la entrada, cosa que no puede ocurrir con un acoplamiento por condensador. Este fenómeno, que se designa con el nombre de *deriva*, es el principal inconveniente de los amplificadores de continua.

Existen otros procedimientos para conseguir amplificadores de continua con más de una etapa, uno de los cuales es aquel que realiza el acoplamiento por cátodo del que hemos hablado hace muy poco: la salida del primer paso y la entrada del segundo (los dos cátodos) están unidos por un conductor.

UNA SUPOSICIÓN FINAL: ¿Hace falta decir que un amplificador de continua también puede amplificar señales alternas?

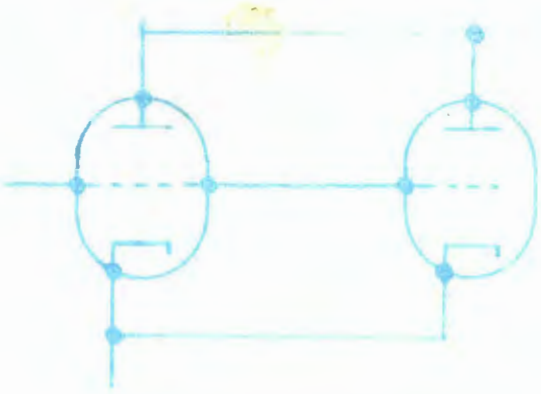
AMPLIFICADORES EN CONTRAFASE

Dentro del estudio del montaje de amplificadores de tipo especial, llega el turno de un montaje que en los amplificadores de sonido permite obtener potencias elevadas sin los inconvenientes que se derivan del empleo de válvulas con una gran potencia de disipación, los que podemos resumir en dos:

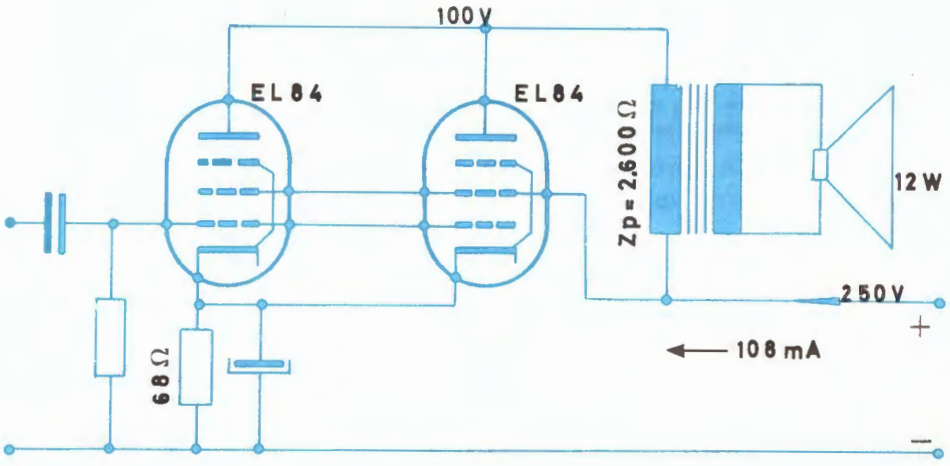
1. No siempre es posible encontrar válvulas de suficiente potencia de disipación.
2. El peligro de que el transformador de salida quede saturado, debido a que a mayor potencia de disipación mayor es el valor de la componente continua de la intensidad de placa.

La solución más inmediata que permite conseguir una potencia de disipación superior a la de aquellas válvulas que encontramos normalmente en el mercado es, simplemente, trabajar con dos válvulas de menor potencia conectadas en paralelo.

Dos válvulas estarán conectadas en paralelo cuando sus placas, rejillas y cátodos están conectados entre sí. Vea la figura que ilustra esta definición.



Conexión de dos triodos en paralelo.



Paso de salida formado por dos EL84 en paralelo.

En estas circunstancias (dos triodos en paralelo) la potencia que el conjunto de las dos válvulas entrega al transformador de salida es justamente el doble de la potencia que liberaría una sola.

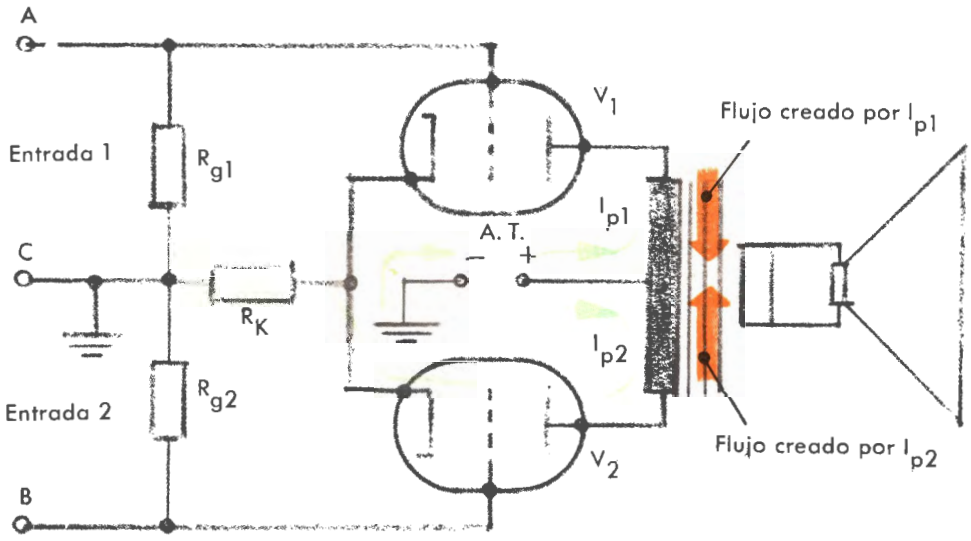
Es preciso tener en cuenta que la impedancia que debe presentar el primario del transformador de salida, en un amplificador con este montaje debe tener la mitad del valor que requeriría una sola válvula. No tiene nada de extraño, puesto que también la resistencia interna del conjunto formado por las dos válvulas es la mitad de la resistencia interna r_p de una de ellas. No en balde se trata de dos resistencias situadas en paralelo.

Un razonamiento análogo nos llevará a una conclusión similar referente a la resistencia de polarización de cátodo: también esta resistencia tendrá la mitad del valor que le corresponde cuando se trabaja con una sola válvula. Piense que, con el montaje que tratamos, la resistencia de carga de cátodo está recorrida por una intensidad doble cuando la tensión de polarización sigue siendo la misma.

Como ejemplo característico podemos considerar los datos y esquema de un paso de salida formado por dos EL84 unidas en paralelo.

Este montaje puede suministrar una potencia *teórica* máxima de 12 vatios; dato que en sí es muy satisfactorio, pero que en cambio trae a cuestas una componente continua de la intensidad de placa de elevado valor, que nos obliga a utilizar un transformador de salida de núcleo muy voluminoso para evitar la saturación.

Vamos a estudiar una solución mucho mejor. Es la que se representa gráficamente en nuestro esquema y donde puede advertirse que también se trata de una etapa de salida formada por dos válvulas, dispuestas de tal forma que sólo los cátodos están unidos entre sí. Las rejillas, en cambio, deben excitarse con independencia.



Lo más característico de este montaje es la toma media del primario del transformador de salida a la cual se aplica la toma positiva de alta tensión (+ AT). Cada una de las placas de las válvulas queda conectada a un extremo del primario. El esquema se completa con la resistencia R_K de polarización por cátodo (hemos prescindido del condensador por las razones que pronto veremos) y las resistencias R_{g1} y R_{g2}, que son las normales de rejilla.

Entremos en el capítulo de las observaciones.

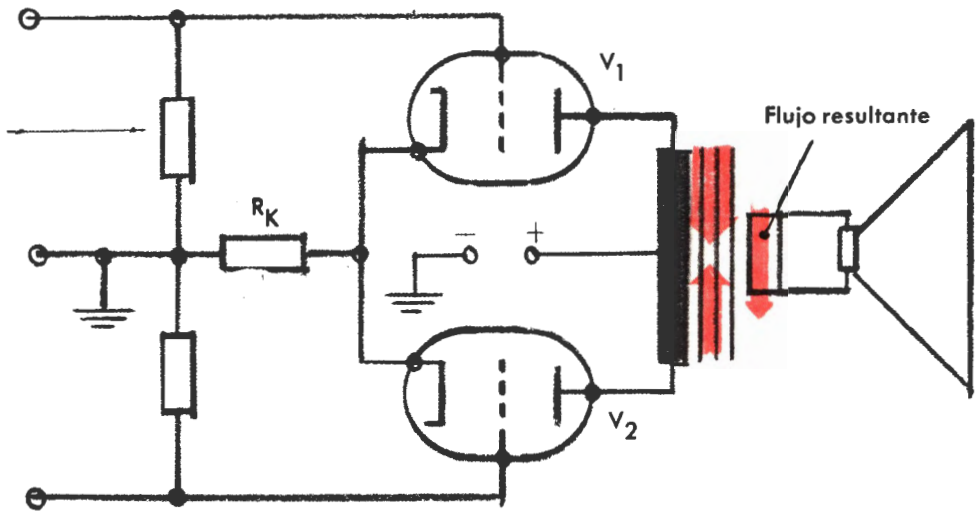
La más inmediata de las particularidades que podemos advertir en este montaje es el hecho de que el primario del transformador de salida queda recorrido por las intensidades de placa I_{p1} e I_{p2}, que llevan sentidos opuestos; por cuya razón también los flujos que crean dichas corrientes llevarán un sentido antagónico; se restarán. Pero dado que las corrientes I_{p1} e I_{p2} son iguales, también lo serán los flujos por ellas creados, cuya diferencia será nula.

Resulta, pues, que a pesar de que la corriente de placa de las dos válvulas circula por el primario del transformador de salida, el flujo en el núcleo es nulo, y por tanto mínimo el peligro de saturación.

Bien; hasta aquí lo que sucede cuando las rejillas no recogen ninguna señal. Ni a la entrada 1 ni a la 2 se ha aplicado señal.

Tratemos ahora de hacer funcionar el montaje, empezando por inyectar una señal a la entrada 1. Esta señal llegará a la rejilla de la válvula V_1; y de acuerdo con dicha señal variará la corriente I_{p1} y con ella el flujo que proporciona, el cual tomará valores crecientes y decrecientes de acuerdo con las variaciones de la señal aplicada. En cambio, el flujo creado por I_{p2} permanecerá invariable, puesto que no hay señal a la entrada 2.

¿Consecuencia...? Que el flujo en el primario deja de ser nulo y toma valores variables que hacen que la señal aparezca en el altavoz.



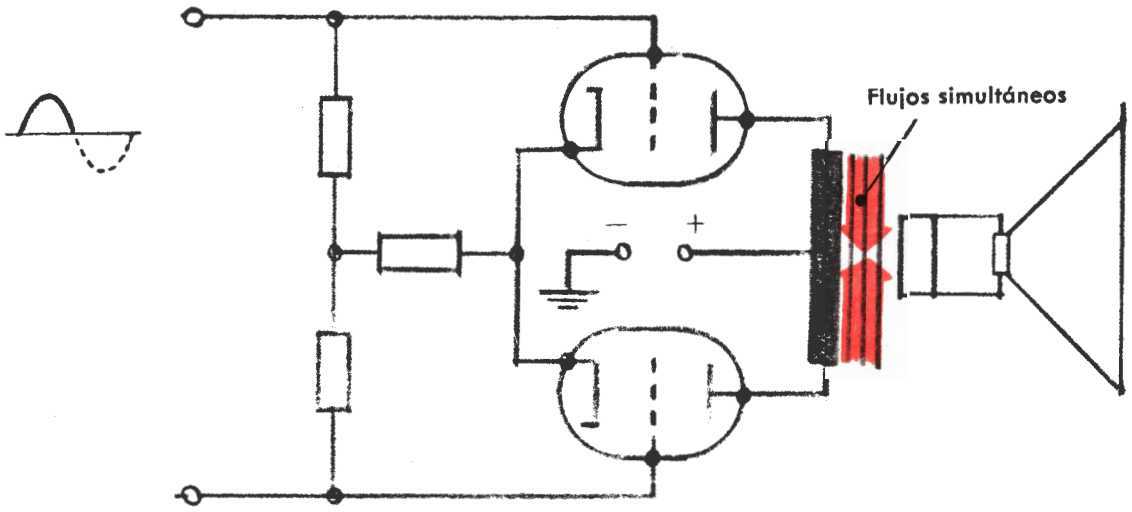
Aplicando una señal a la válvula V_1 varía el flujo creado por su corriente de placa. En consecuencia el flujo resultante no será nulo. La figura ilustra el instante en que el valor de la señal alcanza su máximo positivo.

En estas circunstancias (señal en una sola entrada) la potencia que puede suministrar el montaje es la debida a la acción de una sola válvula (V_1), puesto que la otra (V_2) no recibe ninguna señal y sólo actúa en el sentido de mejorar el funcionamiento del transformador de salida.

Para conseguir que funcionen las dos válvulas — puesto que sólo así obtendremos mayor potencia de salida — será preciso aplicar una señal a la entrada 2.

Cabe preguntarse: ¿Por qué no aplicar la misma señal presente en la entrada 1? Esto es lo que hacíamos en el montaje de válvulas en paralelo, lo que no es posible en el montaje que ahora tratamos. La razón de esta imposibilidad es obvia: como las dos válvulas recibirían la misma señal, las variaciones de I_{p1} e I_{p2} serían idénticas, así como los flujos creados por ellas. Total: que tendríamos dos flujos variables exactamente iguales y cuyas variaciones serían simultáneas; la diferencia entre ambos flujos resultaría siempre igual a cero.

Por muy potentes que fuesen las señales aplicadas, el altavoz permanecería mudo.



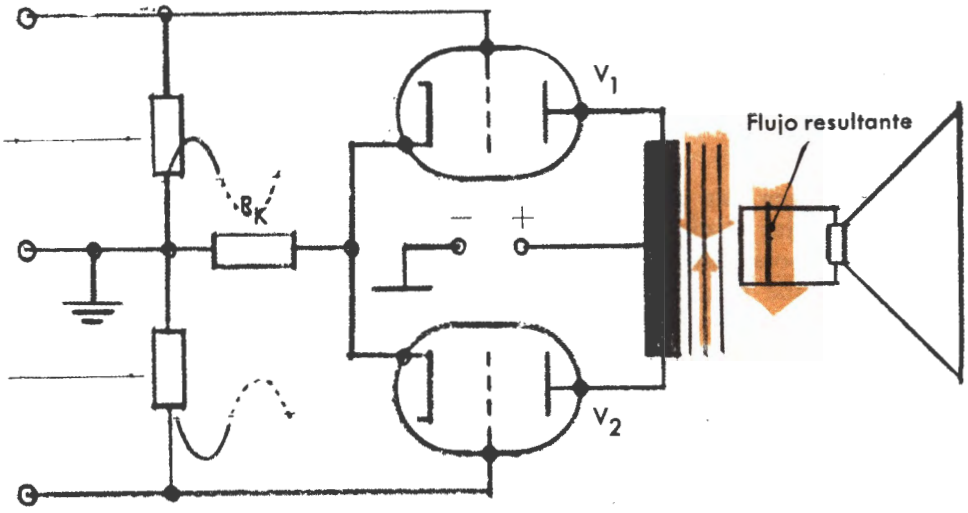
Aplicando la misma señal a las dos mitades del montaje el flujo en el primario del transformador de salida es nulo. La figura ilustra el momento en que la señal aplicada alcanza su máximo valor positivo.

Después de esta experiencia es fácil comprender que lo que interesa para obtener una elevada potencia sonora es un desequilibrio de flujos. Es decir: deberemos conseguir que todo aumento del flujo de I_{p1} corresponda a una disminución del flujo de I_{p2}.

Lo conseguiremos cuando podamos aplicar a las entradas 1 y 2 señales de igual amplitud, pero OPUESTAS EN FASE. De ahí que sea necesario trabajar con dos entradas en vez de hacerlo con una sola.

También se comprende ahora por qué no es necesario utilizar un condensador de cátodo para estabilizar la polarización. Puesto que a un aumento de I_{p1} corresponde una disminución de igual valor en I_{p2}, y dado que por la resistencia R_K circulan ambas corrientes a la vez, la suma de las intensidades se mantiene invariable, así como la caída de tensión provocada por dicha suma.

Algunas veces, sin embargo, se emplea el condensador como medida de seguridad, habida cuenta que en la práctica difícilmente daremos con dos válvulas de características absolutamente iguales. Toda variación en las características, por pequeña que sea, representa una variación en la intensidad de placa; de ahí que sea prudente no suprimir el condensador de cátodo.



Aplicando señales opuestas en fase a las rejillas de V_1 y V_2, el flujo resultante en el núcleo del transformador de salida es máximo. La figura ilustra el instante en que la señal de V_1 alcanza el máximo positivo y la de V_2 el máximo negativo.

Nombre de este amplificador

Debido a que en este amplificador las señales que atraviesan sus dos mitades están en oposición de fase (o en fase contraria), el montaje recibe el nombre de AMPLIFICADOR DE CONTRAFASE, aunque es más común la denominación inglesa. Estos amplificadores son los denominados AMPLIFICADORES PUSH-PULL. La traducción del nombre inglés viene a ser algo así como *empuja-tira*.

Otra denominación aceptada es AMPLIFICADOR BALANCEADO.

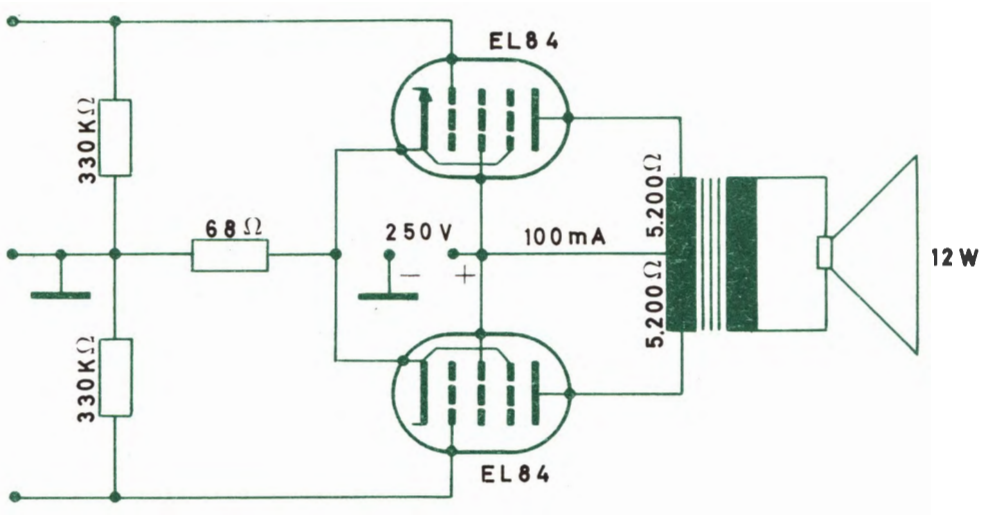
LA POTENCIA DE SALIDA EN EL AMPLIFICADOR PUSH-PULL

En principio podemos afirmar que la potencia que puede suministrar un montaje en push-pull es doble de la que se obtendría con una sola válvula, ya que cada unidad trabaja en idénticas condiciones que estando sola.

Decimos *en principio*, porque en el montaje en contrafase podemos hacer que las válvulas, trabajando en condiciones algo distintas (vamos a verlo inmediatamente), rindan una potencia superior al doble teórico que hemos presupuesto

Admitamos, por el momento, que si las válvulas trabajando como hasta ahora hemos dicho lo hacen en la forma más conveniente. Supuesto así, es evidente que cada mitad del primario del transformador de salida deberá presentar la impedancia adecuada para cargar una válvula, y también que la resistencia de cátodo R_K se habrá reducido a la mitad del valor requerido por una sola válvula.

A título de ejemplo añadimos el esquema de un paso de salida en push-pull que emplea dos EL84.



Amplificador push-pull, clase A, que utiliza dos pentodos EL84.

Una de las ventajas más notables del montaje en push-pull es la de no precisar de un filtrado tan acusado como un amplificador normal. Aun suponiendo que la tensión de + AT presente un rizado considerable, dado que las variaciones de la corriente de placa en ambas válvulas serán simultáneas y del mismo sentido, no aparece flujo resultante de estas variaciones; por tanto, no se manifiesta zumbido en el altavoz. Esta es una ventaja interesante del push-pull

INVERSORES DE FASE

Junto a las muchas ventajas que ofrece una etapa balanceada aparece también un pequeño inconveniente: la necesidad de trabajar con dos señales idénticas en amplitud y con sus fases opuestas.

Éste es, sin embargo, un problema de fácil solución, ya que existen muchos circuitos que suministran estas señales a partir de una sola.

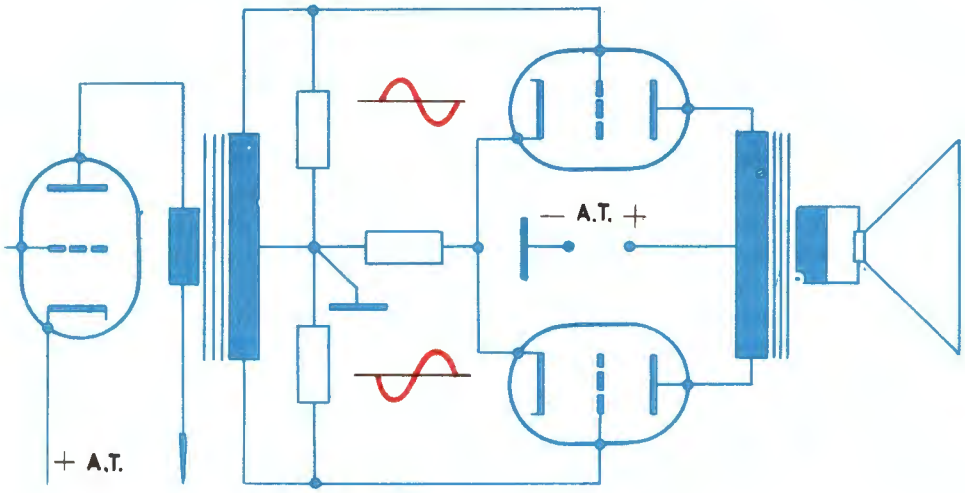
El sistema técnicamente más sencillo consiste en utilizar un transformador para acoplar el paso de salida en push-pull con el paso anterior a él. Este transformador ofrece una toma media en el secundario que se conecta al chasis. Los extremos del secundario, en los que aparecen señales de igual amplitud pero en oposición de fases, se conectan a las rejillas de cada una de las dos válvulas del push-pull.

Pero ya hemos dicho que los transformadores, considerados como elementos de acoplamiento, presentan graves inconvenientes. Es preferible evitar su uso.

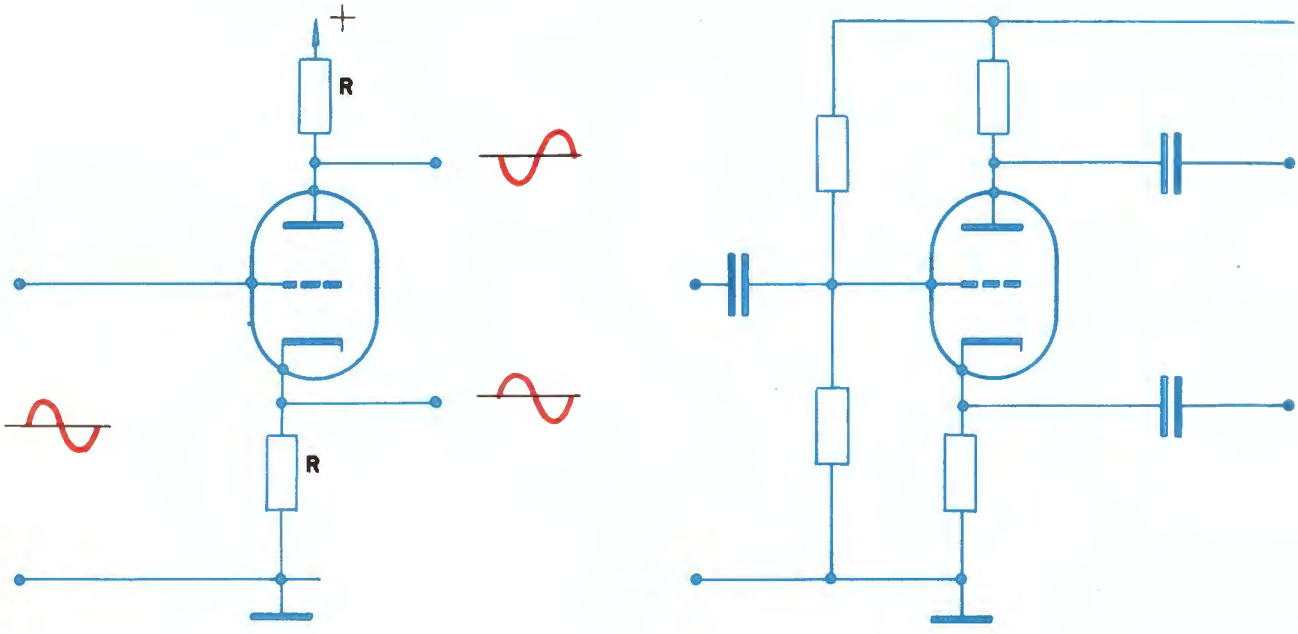
Difícilmente puede prescindirse del transformador de salida. En cambio, existen muchos montajes que utilizan válvulas electrónicas y son capaces de sustituir con ventaja a un transformador defasado como el que hemos descrito.

Así, por ejemplo, el llamado DEFASADOR CATÓDICO es un circuito de este tipo que podemos considerar característico.

Un defasador catódico consiste en un triodo al que, entre la placa y la toma de + AT y entre cátodo y chasis, se han conectado dos resistencias de valor exactamente igual. Vea el segundo esquema de la página siguiente.



He aquí cómo puede solucionarse la obtención de las dos señales con inversión de fase por medio de un transformador.



Esquema de principio y esquema real de un defasador catódico.

La señal aplicada a la rejilla hace que varíe la corriente a través del triodo; variaciones de corriente que provocan potenciales variables en el cátodo y en la placa, debido a la existencia de las dos resistencias conectadas a ambos electrodos. Y puesto que las dos resistencias son iguales, también serán iguales en amplitud las variaciones del potencial de placa y cátodo; pero serán, por las razones que ya conocemos, opuestas de fase.

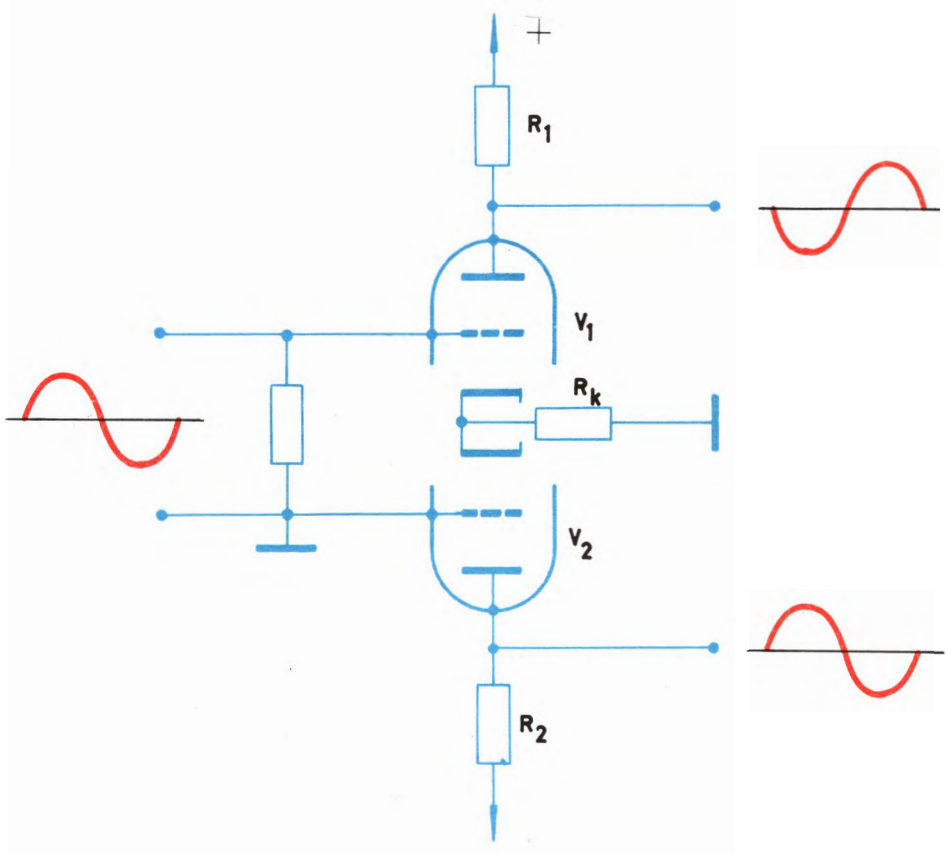
Este circuito es una mezcla del amplificador con salida por placa y del amplificador con salida por cátodo.

Ya sabemos que la señal del cátodo no puede llegar a ser mayor (ni tan sólo igual) que la señal aplicada a la rejilla. En el defasador catódico la señal en la placa es igual a la señal en el cátodo, lo cual significa que, en este montaje, la señal en la placa es menor que la señal a la entrada.

Éste es el principal inconveniente del defasador catódico.

Lo usual es que interesa obtener para cada una de las salidas del dispositivo la mayor ganancia posible, aunque tal ganancia no puede llegar a ser igual a la unidad. Por tanto interesa que las resistencias R tengan un elevado valor óhmico, circunstancia que nos forzará a emplear uno de los métodos de polarización citados al estudiar el amplificador montado con placa común.

Del amplificador con acoplamiento catódico que antes hemos estudiado puede derivarse un montaje defasador donde las tensiones de salida sean mayores que las tensiones de entrada. Ambos únicamente se diferencian en que el montaje defasador lleva la placa del primer triodo conectada a la toma de + AT a través de una resistencia, en vez de ir directamente conectada a ella.



Esquema de principio de un defasador derivado del amplificador con acoplamiento catódico.

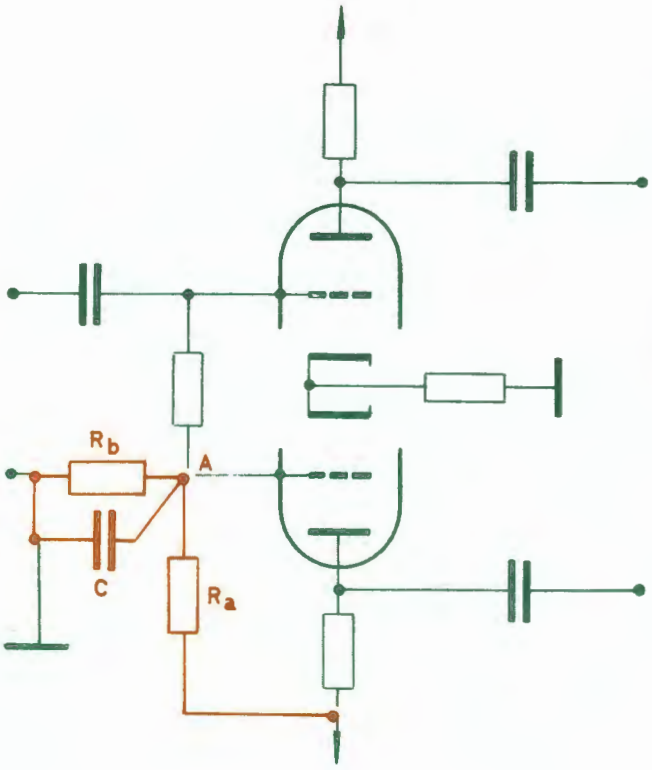
En la placa del primer triodo (V_1) la señal está en oposición de fase con la señal a la entrada, mientras que la señal en la placa del segundo triodo (V_2) está en fase con la señal de entrada. Evidente: las señales en ambas placas tendrán fases opuestas.

En este montaje, para que ambas señales tengan la misma amplitud es preciso que R_2 sea algo mayor que R_1.

Por otra parte, para conseguir un funcionamiento adecuado el valor de R_K debe ser bastante mayor de lo que conviene a una correcta polarización, lo cual nos obliga a aplicar a las rejillas una tensión positiva que reduzca la d.d.p. entre rejilla y cátodo al valor correcto.

Añadimos un esquema donde aparece una posible solución al problema.

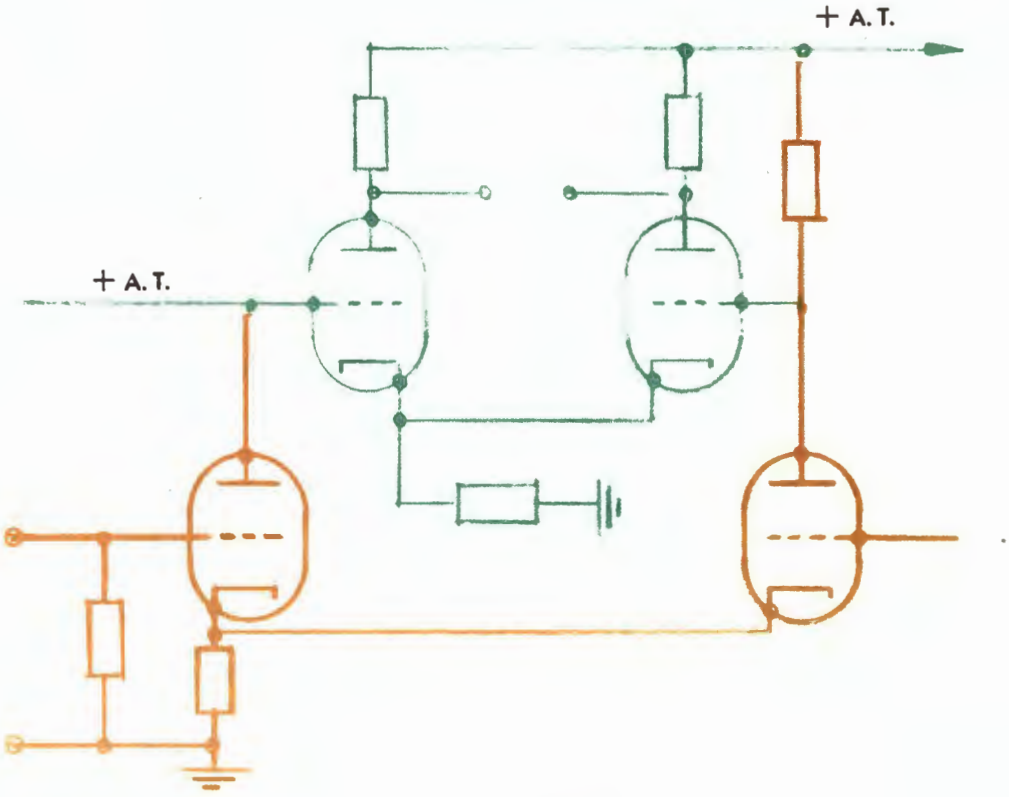
En este nuevo esquema el punto A no está conectado al chasis, sino al punto medio del divisor de tensión formado por las resistencias R_a y R_b. De esta forma, las dos rejillas quedan sometidas a un potencial positivo; pero para las señales alternas es como si el punto A siguiese conectado al chasis, dado que el condensador C se habrá elegido de gran capacidad, de forma que para dichas señales sea, prácticamente, un cortocircuito.



En el capítulo de PRÁCTICAS de la lección 17 de nuestro Tratado encontrará un esquema de amplificador de sonido donde la primera inversión de fase se consigue por medio de un transformador. Aquí adjuntamos el esquema de principio de un amplificador destinado a equipar un osciloscopio, donde podrá apreciar buenos ejemplos de los montajes estudiados.

Dicho montaje se compone de un amplificador acoplado por cátodo y de un defasador derivado del mismo montaje. Ambos circuitos, además, están acoplados en continua.

Defasador derivado del amplificador acoplado por cátodo, al que se le ha añadido una red divisora de tensión que permite polarizar las rejillas con un potencial positivo respecto al chasis.



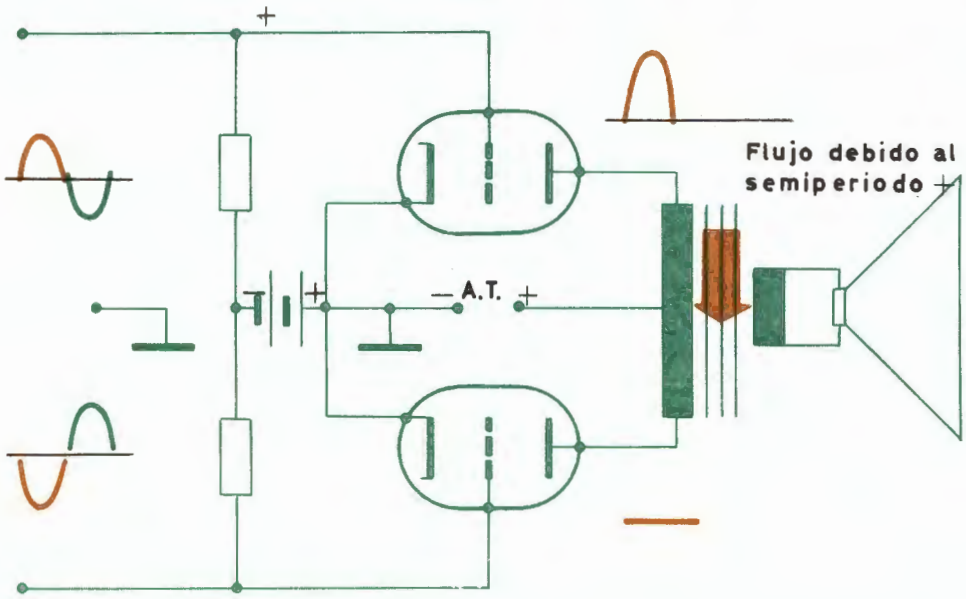
Esquema de principio de un amplificador acoplado en continua destinado a equipar un osciloscopio.

AMPLIFICADORES CLASE A, A-B, B y C

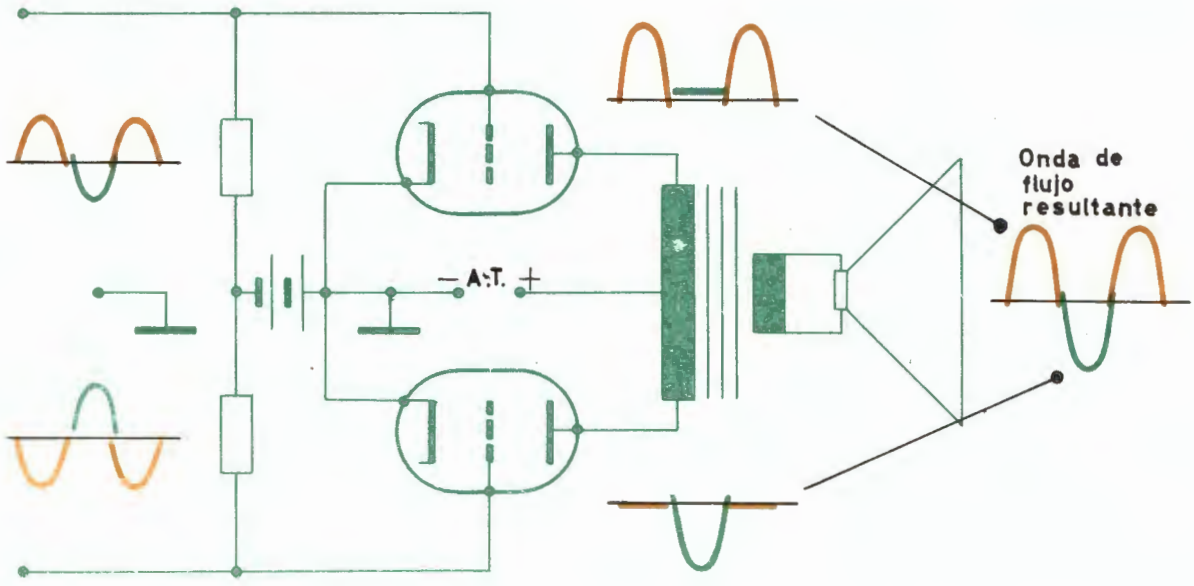
Volviendo ahora al tema de los amplificadores en contrafase, vamos a estudiar algunas modificaciones en sus condiciones de trabajo que permiten obtener mejores resultados del montaje.

Empecemos por suponer que en un amplificador en contrafase aumentamos la tensión de polarización de las válvulas hasta alcanzar la tensión *de corte de rejilla*, o hasta aproximarse mucho a esta tensión. Para ello será necesario polarizar con una batería, ya que si no circula corriente por las válvulas tampoco habrá tensión en la resistencia de cátodo.

Si en estas condiciones aplicamos las dos señales opuestas de fase a la entrada del paso de sali-



Funcionamiento de un amplificador de clase B durante un semiperíodo.



Forma de trabajar de un amplificador de clase B en los distintos períodos de las señales de la entrada.

da en push-pull, ocurrirá que en cada semiperíodo sólo conducirá la válvula cuya rejilla reciba la señal positiva, puesto que la otra recibirá señal negativa y tendrá una tensión que estará todavía más allá de la de corte.

En definitiva, lo que ocurre es que la corriente sólo circula por las válvulas durante un semiperíodo, pero alternándose las válvulas en su funcionamiento. Cuando la primera conduce, descansa la segunda, por así decirlo, y viceversa. En el núcleo del transformador de salida, las variaciones del flujo son las que corresponden a una onda completa.

En este montaje se pone de manifiesto un hecho importante: aunque cada válvula produce individualmente señales muy distorsionadas, las señales en el altavoz no lo están.

Ésta es una ventaja que permite obtener mayor potencia en los amplificadores balanceados, ya que la distorsión que produce una de las válvulas cuando la tensión de entrada es excesiva queda cancelada (por lo menos dentro de ciertos límites) por la que produce la otra.

Este amplificador cuyo funcionamiento estamos analizado corresponde a un montaje de CLASE B, *en contraposición con el montaje cuya polarización es ordinaria, que se designa como un montaje de* CLASE A.

La clase B tiene la ventaja de que el amplificador no consume corriente de la fuente de alimentación (o consume muy poca) en ausencia de señal, pues en la práctica se elige una tensión de polarización algo menor que la tensión de corte. El consumo de corriente aumenta a medida que crece la amplitud de las señales de entrada.

Advierta que lo que en realidad distingue los amplificadores en clases es las condiciones de trabajo a que se someten las válvulas montadas en push-pull.

Cuando un amplificador en contrafase *trabaja* en clase A (polarización ordinaria) y por cualquier causa una de las señales de entrada disminuye en amplitud, llegando quizás a desaparecer por completo, el resultado es tan sólo una disminución de la potencia sonora; pero no mayor distorsión, por lo menos en grado elevado. Si, por contra, este mismo amplificador trabaja en clase B (tensión de polarización similar a la de corte) la distorsión, ante la misma circunstancia, es inevitable.

Un amplificador clase B tiene además otra desventaja: con señales débiles las válvulas trabajan en el codo inferior de la característica (parte más curvada), donde tales señales sufren más distorsión que las señales de gran amplitud.

Existe un montaje intermedio, denominado clase A-B, en el cual la polarización es más negativa que en la clase A, pero menos que en la clase B, de modo que las válvulas trabajan fuera del codo inferior de las características. Se evita el inconveniente mencionado para los amplificadores de clase B.

En un amplificador de clase A-B la polarización puede conseguirse por medio de una resistencia de cátodo, debido a que el consumo de corriente en ausencia de señal es ya apreciable.

Existe aún una cuarta posibilidad: hacer que la tensión de polarización sea mucho más negativa que la tensión de corte. Cuando así ocurra, estaremos ante un amplificador de clase C. Debido a lo muy negativa que es la tensión de polarización, las válvulas sólo conducen durante una parte de los semiperíodos positivos de la señal de entrada, circunstancia que no permite que el montaje en clase C sea apto como amplificador de sonido, pero que no excluye la posibilidad de utilizarlo para otros fines.

En los amplificadores clase B y clase A-B, en general, la impedancia que deben presentar las dos mitades del primario del transformador de salida es algo distinta de la que conviene en clase A.

Para la EL84, concretamente, la impedancia por cada mitad del primario es de 4.000 Ω, lo cual significa que entre los extremos de dicho primario debe existir una impedancia de 8.000 Ω, que suele designarse así: $Z_{pp} = 8.000\ \Omega$, o bien, $R_{pp} = 8.000\ \Omega$.

Como final de lección damos tres cuadros donde se indica cómo varía el valor medio de la intensidad de placa, y la distorsión producida en función de la potencia exigida, en tres pasos de salida distintos:

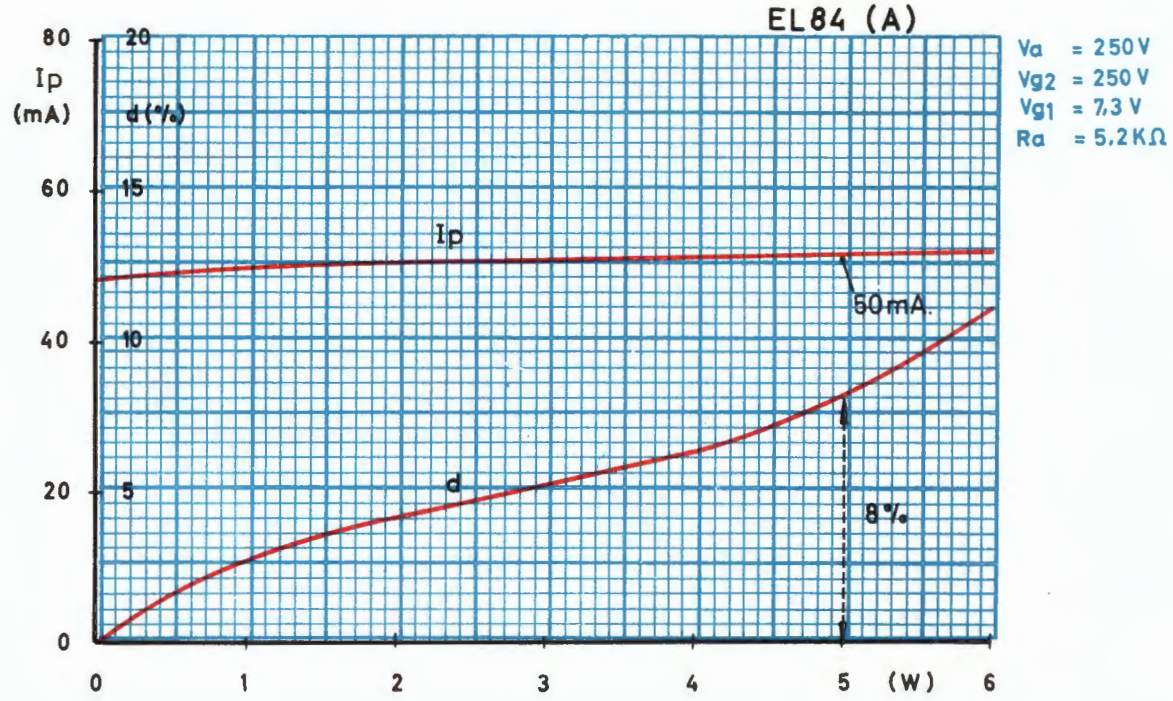
Un paso de salida formado por una sola EL84 montada en clase A.

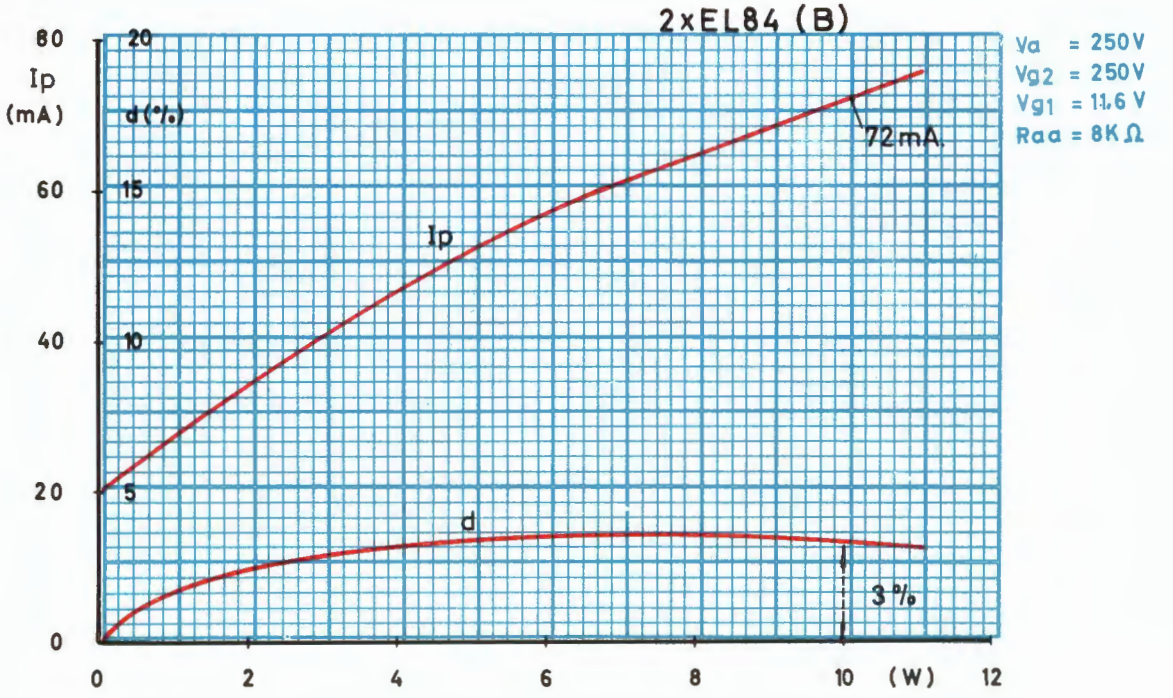
Otro paso de salida formado por dos EL84 montadas en contrafase clase A-B.

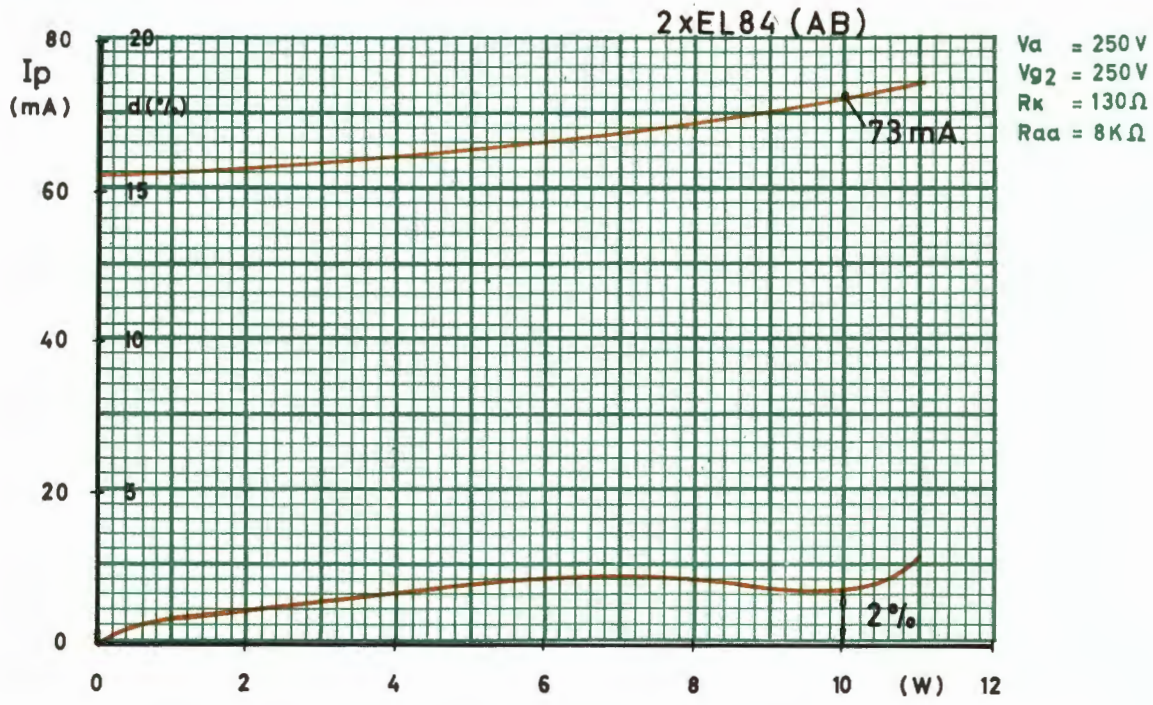
Un tercer paso de salida formado por dos EL84 en contrafase clase B.

Con esta lección hemos cubierto otra etapa importante en nuestro caminar hacia una formación técnica eficiente. Aquí termina la exposición básica de cuanto es exigible al técnico sobre el conocimiento de los fenómenos debidos al proceso de amplificación de las señales eléctricas. Lo más característico de la amplificación ha sido puesto al descubierto, teóricamente analizado, y prácticamente descrito.

Con ello, empero, no hemos agotado el tema. Será en nuestras lecciones sobre alta fidelidad cuando otra vez tomaremos contacto con él.


EL84 (A)
Va = 250 V
Vg2 = 250 V
Vg1 = 7,3 V
Ra = 5,2 KΩ
Ip (mA)
d (%)
Ip
d
50 mA.
8 %
(W)


2xEL84 (B)
Va = 250 V
Vg2 = 250 V
Vg1 = 11,6 V
Raa = 8K Ω
Ip (mA)
d (%)
Ip
d
72 mA.
3 %
(W)


2xEL84 (AB)
Va = 250 V
Vg2 = 250 V
Rk = 130Ω
Raa = 8KΩ
Ip
(mA)
d(%)
80
60
40
20
0
20
15
10
5
73 mA
2%
0
2
4
6
8
10
(W)
12

APENDICE

REALIZACIONES PRACTICAS

lección práctica (9)

Receptor a reacción con detección por placa y amplificación de potencia por triodo. Altavoz de 4½"

NUESTRO PRIMER RECEPTOR CON ALTAVOZ

Gracias al contenido del capítulo de RADIOTECNIA de la presente lección, hemos adquirido una idea clara y suficiente de lo que es un altavoz y de cómo funciona. Por ello ha llegado el momento oportuno de sustituir el auricular, que ha sido, hasta ahora, el elemento reproductor de sonido que hemos podido emplear en consonancia con nuestros conocimientos y con las posibilidades amplificadoras de los receptores estudiados.

Nuestra práctica consistirá en introducir las variantes oportunas al receptor descrito en la lección 16 de nuestro Tratado, para conseguir que el elemento reproductor deje de ser auricular para convertirse en un altavoz.

La práctica, en sí, es de una enorme sencillez; los cambios a introducir en el circuito del receptor que ha estudiado con anterioridad están hechos en un abrir y cerrar de ojos. Pero aprovecharemos esta práctica para repasar conceptos fundamentales en la teoría de la radio.

RECUERDE QUE...

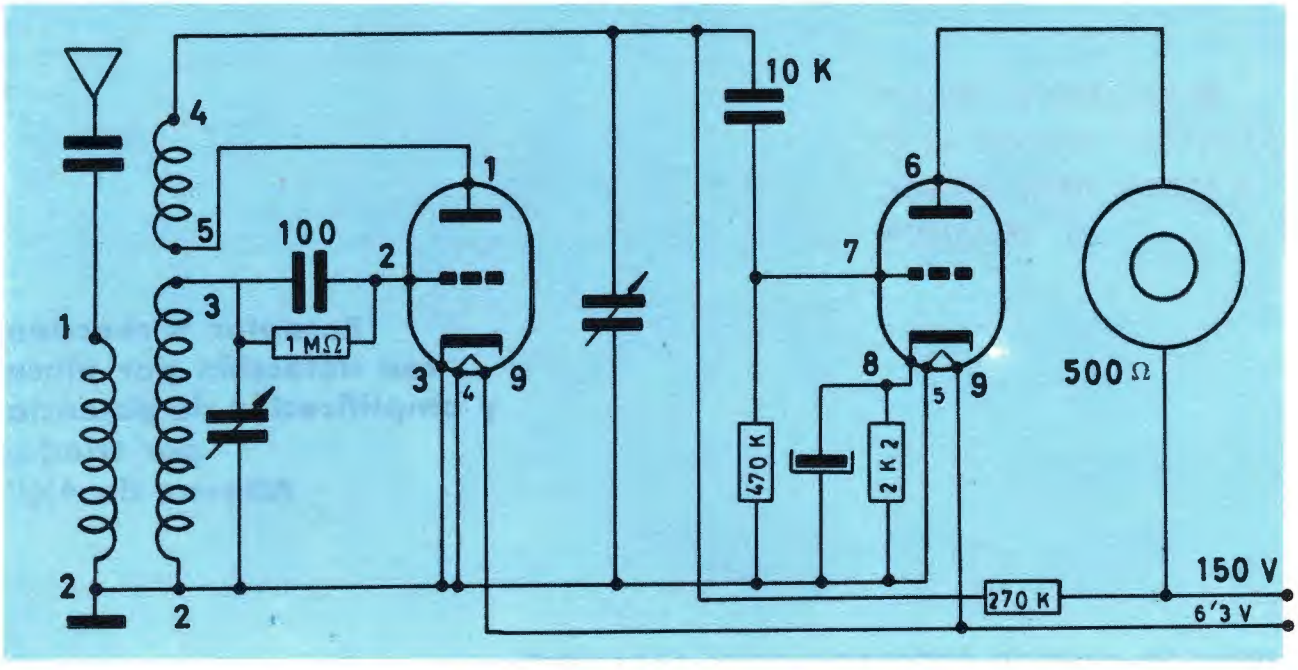
En la lección 16 dábamos las instrucciones necesarias para montar una mitad del doble triodo ECC82 como amplificador de las señales procedentes del detector que se apliquen al auricular. Decíamos que, al ser la resistencia de este auricular (incluso en corriente alterna, donde a la resistencia óhmica de las bobinas se suma geométricamente la resistencia debida a su autoinducción) mucho menor que la resistencia interna del triodo, teníamos lo que nos pareció oportuno llamar amplificador de intensidad; el que, si bien no proporcionaba la máxima potencia que puede conseguirse del triodo, era suficiente para accionar el auricular. Era suficiente la potencia obtenida; y, por otra parte, tampoco era prudente aplicarla en mayor cantidad.

Ahora será distinto, ya que el altavoz empleado admite una potencia mucho mayor.

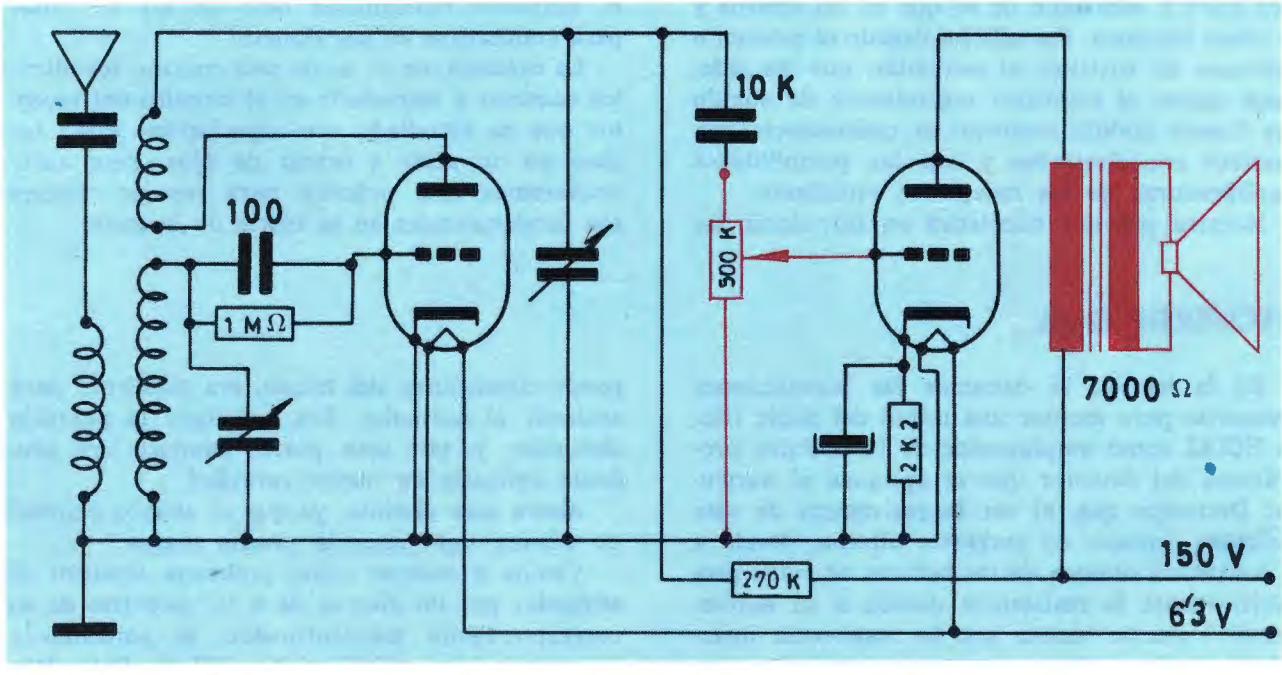
Vamos a indicar cómo podemos sustituir el auricular por un altavoz de 4 ½" provisto de su correspondiente transformador, la impedancia de cuya bobina móvil es $Z = 3'75\ \Omega$. Este dato puede leerse generalmente en algún lugar de la carcasa del altavoz.

EL ESQUEMA

Repetimos que se trata de una práctica muy sencilla, con pocas operaciones manuales. Basta comparar los esquemas del receptor a reacción con auricular y del receptor con altavoz, objeto de la práctica que ahora nos ocupa, para darse cuenta de ello.



Esquema del receptor a reacción con detección por placa y amplificación por triodo, y cuyo reproductor es un auricular (Z = 500 Ω aproximadamente).



Este es el esquema del receptor anterior, con las modificaciones que permiten la incorporación de un altavoz. En negro, lo que permanece intacto del circuito anterior. En color, las modificaciones introducidas en el circuito.

EL ALTAVOZ

Hemos escogido un altavoz de 4 ½", por ser éste un tamaño que se ajusta al volumen total de nuestro aparato, o mejor dicho, al tamaño del chasis que hemos proyectado para estos montajes. La impedancia de la bobina móvil, lo hemos dicho, será de 3'75 Ω, lo cual quiere decir que si la impedancia del primario de su transformador deseamos que sea de 7.000 Ω, la relación de transformación *n* será:

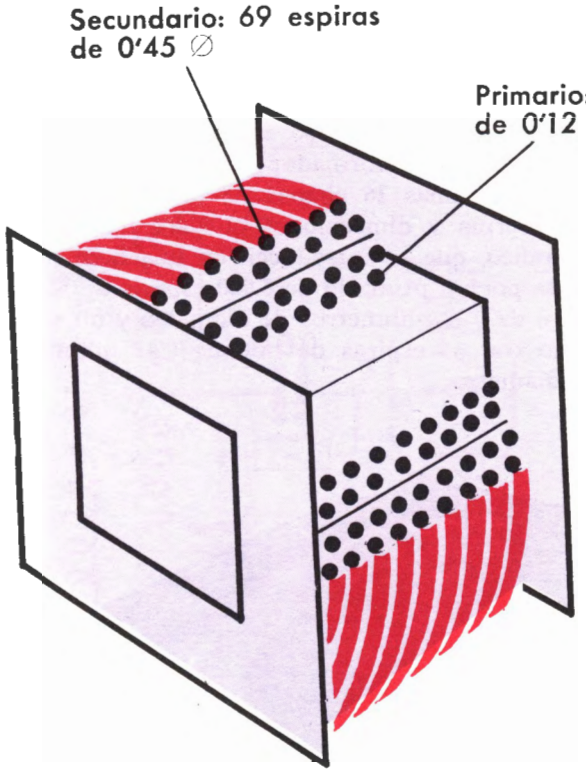
$$n = \sqrt{\frac{3'75}{7000}} = 0'0232 = 0'0232 \times \frac{100}{100} = \frac{2'32}{100}$$

Es decir: el altavoz de nuestro receptor llevará un transformador con 2'32 espiras en el secundario por cada 100 espiras del primario.

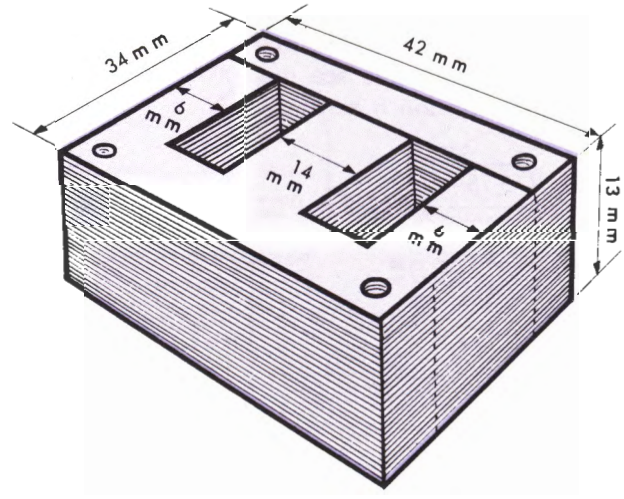
Nuestro transformador tiene un núcleo formado por unas 26 chapas de hierro magnético, cuya forma y dimensiones quedan indicadas en el gráfico, que se introducen en una bobina formada por un primario de 3.000 espiras de hilo de cobre de 0'12 milímetros de diámetro y un secundario con 69 espiras de hilo de 0'45 milímetros de diámetro.

Transformador de Z = 7.000 Ω para altavoz de 4½" e impedancia de 3'75 Ω en la bobina móvil.

Altavoz circular de 4½". Es un modelo normal de altavoz de bobina móvil con una impedancia de 3'75 Ω. La fotografía muestra el altavoz sin el transformador.



Bobinas del primario y secundario.



Empilado del transformador (medidas aproximadas).

CONTROL DE VOLUMEN

En el último apartado de la lección de RADIOTECNIA han quedado especificadas las condiciones de trabajo de este paso amplificador de potencia, condiciones que pueden proporcionar al receptor un volumen sonoro excesivo, sobre todo cuando se sintonizan emisoras muy cercanas.

Por ello hemos creído conveniente añadir al receptor un dispositivo de control de volumen.

Consiste, simplemente, en un potenciómetro de 500 KΩ que sustituye la resistencia de 470 KΩ de la rejilla del segundo triodo de la ECC82.

La rejilla se conecta al punto medio de este potenciómetro, a partir del cual, y llevando el cursor (recuerde la lección 9) a derecha o izquierda, podremos aumentar o disminuir la amplitud de la señal que apliquemos a la rejilla.

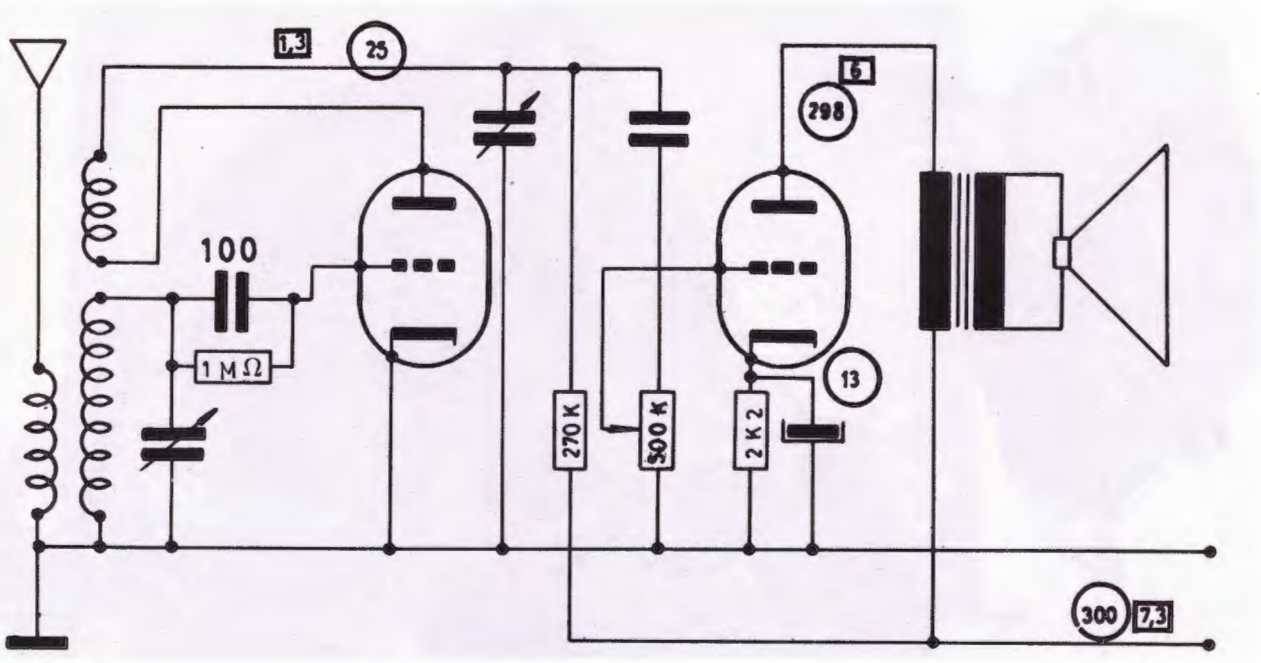
Para sintonizar procederemos como en los receptores anteriores, pero situando el control de volumen en su punto medio para evitar sonidos demasiado estridentes.

TENSIONES E INTENSIDADES

Añadimos el esquema del receptor, indicando en él el valor de las tensiones e intensidades aproximadas que deberemos leer en los puntos o tramos importantes del circuito.

Para efectuar tales mediciones debe tenerse la precaución de abrir por completo el condensador de reacción, cerrar el de sintonía y poner a cero el control de volumen.

Los datos indicados en el esquema son el resultado de las mediciones efectuadas en nuestros laboratorios sobre un receptor prototipo del que usted realiza.



Los números encerrados en un rectángulo indican la intensidad en mA que pasa por el conductor a que se refieren. Los encerrados en un círculo expresan la tensión en voltios con respecto al chasis.

INSTRUCCIONES PARA EL MONTAJE

Son suficientes las lecciones que lleva estudiadas para que, poco a poco, se haya formado un criterio más o menos exacto de lo que es la radio, de sus fundamentos teóricos y de sus exigencias prácticas.

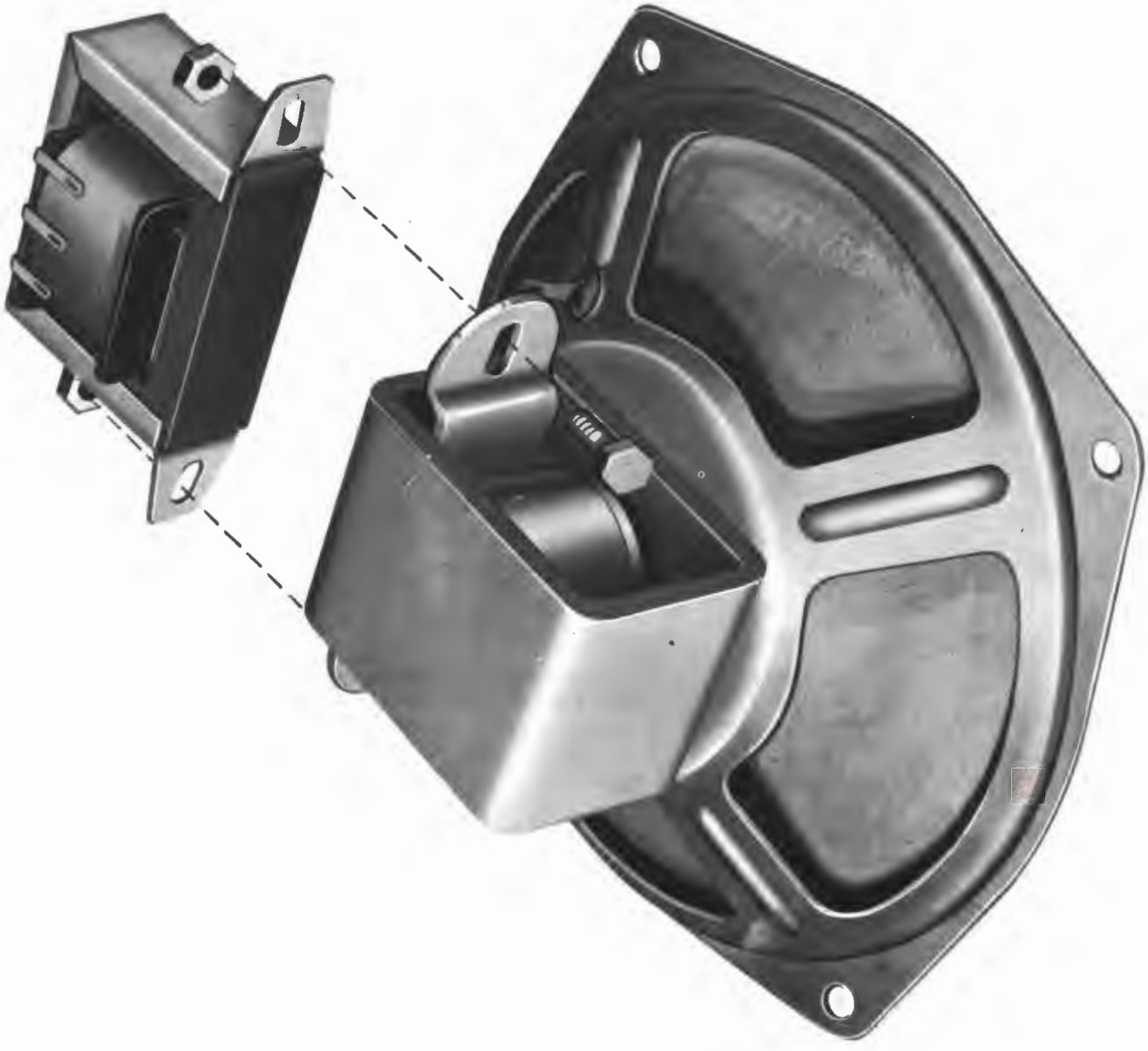
Quizás, mejor que hablar de un criterio, debiéramos referirnos a la experiencia que (estamos seguros de ello) le habrán proporcionado las muchas horas que lleva ya invertidas en este paulatino pero seguro progresar en el dominio de la electrónica aplicada a la radio.

Sí; usted, técnicamente hablando, es un hombre muy distinto de aquel que, hace poco, leyó con curiosidad la Introducción de la primera lección de este método. Es usted muy distinto, y ellos nos libera a dosis progresivas de la necesidad de un detallismo narrativo al que nos veíamos forzados para hacernos entender, para evitar confusiones y para darle esta experiencia que empieza a tener y que nos permite hablar con la tranquilidad y efectividad de quien se sabe interlocutor de una persona que comprende.

ACOPLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR AL ALTAVOZ

Ya sabe usted que siempre que describimos un montaje, y más concretamente el material que deberemos emplear, lo hacemos a partir de lo que es normal en el mercado y dentro de lo que podemos considerar como material de calidad media.

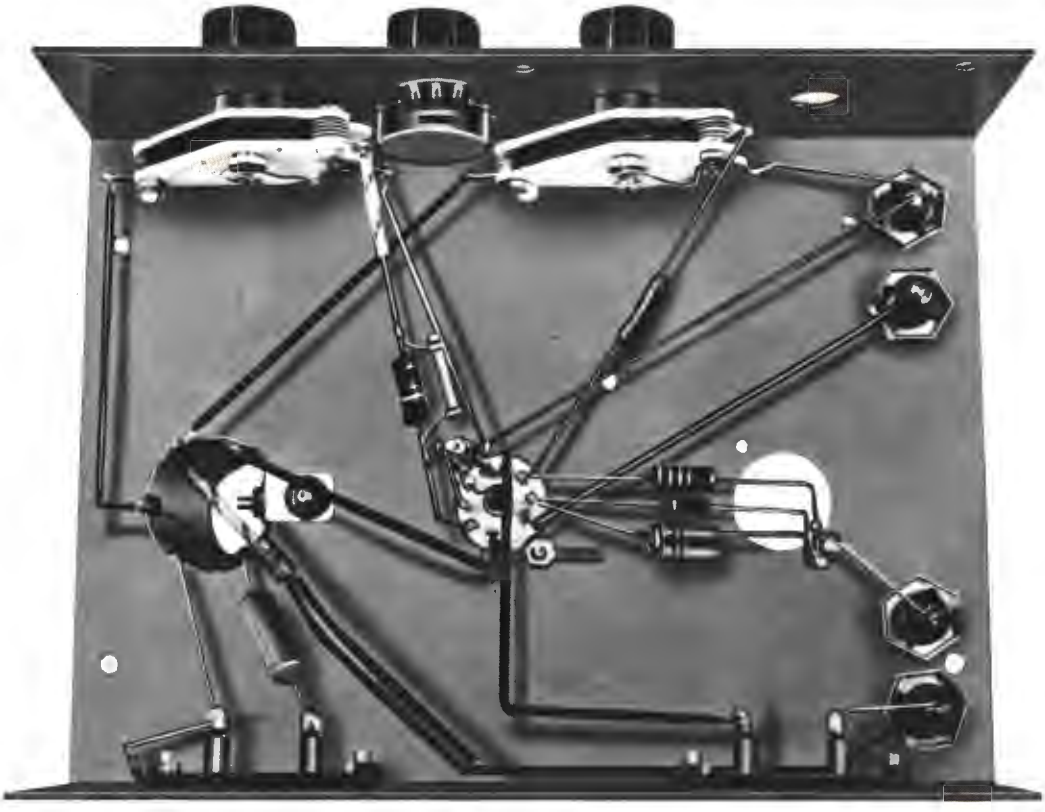
Siempre que le hemos enseñado un determinado componente, hemos tomado como ejemplo un modelo de uso corriente; y nuestro altavoz no debe ser un caso especial. Sepa, pues, que las instrucciones que siguen son válidas para la mayoría de modelos de altavoz que encontrará en los comercios del ramo. Reducimos tales instrucciones a una demostración gráfica, a un dibujo que indique con fidelidad cómo quedan acoplados el altavoz y su transformador.



Manera de acoplar altavoz y transformador. Procure que las soldaduras entre las salidas del transformador y los cabos de la bobina móvil del altavoz queden lo más limpias que pueda. Una gotita de estaño es suficiente.

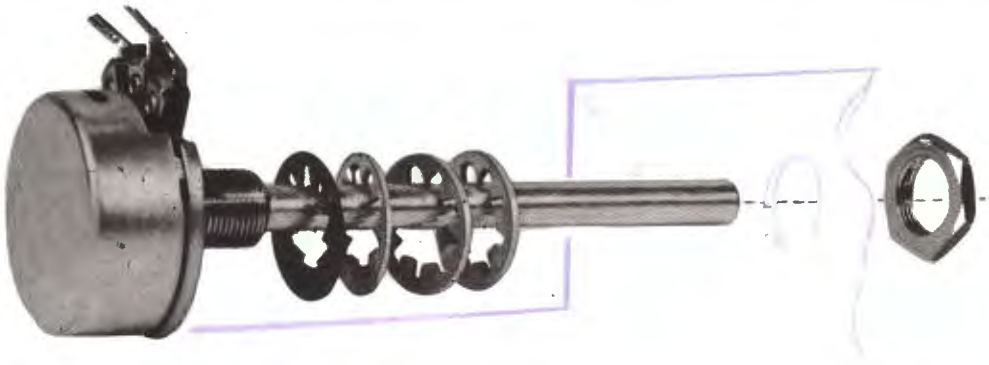
COLOCACION DEL POTENCIOMETRO

Para la colocación del potenciómetro que debe controlar el volumen del sonido emitido por el altavoz, siga las instrucciones que en forma gráfica le damos a continuación. Partimos, como es lógico, del montaje anterior. Véalo en la página opuesta.



Esta es la vista interior del receptor a reacción con amplificación por triodo que vimos anteriormente. El reproductor es un auricular de 500 Ω. De este montaje debemos suprimir algunos componentes. Concretamente, la resistencia de 470 KΩ que está soldada entre la pata 7 del zócalo y la masa. Sobre la misma pata del zócalo queda soldado un terminal del condensador de 10 KpF. Lo desoldaremos también y tendremos el circuito en las condiciones que muestra el siguiente gráfico.

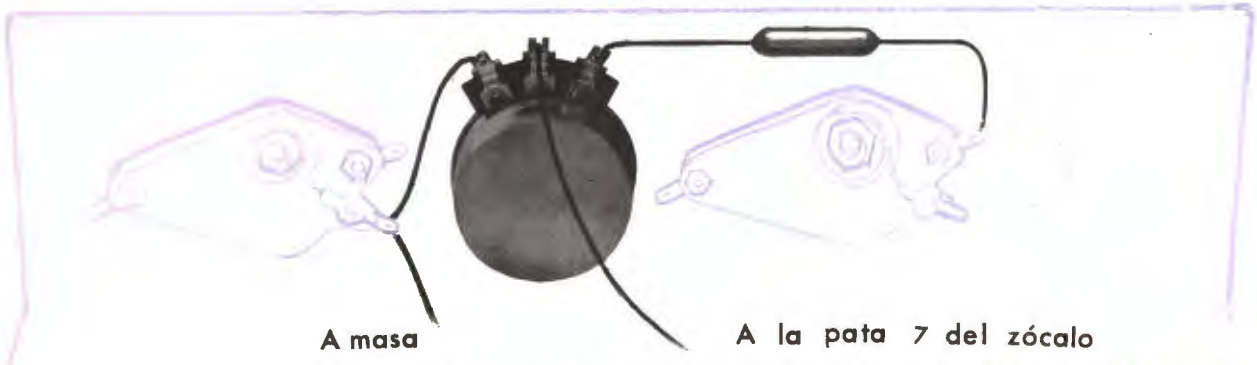
Una vez preparado el montaje anterior podemos colocar el potenciómetro. Sobre la forma de sujetarlo al chasis, creemos que no es necesario extenderse demasiado. Bastará con que mire la figura que proporcionamos para que desaparezca cualquier duda que pueda tener al respecto.



En el agujero libre que queda entre los dos condensadores variables colocaremos un potenciómetro de 500 KΩ logarítmico.

CONEXIONES A EFECTUAR ENTRE EL POTENCIOMETRO Y EL RESTO DEL CIRCUITO

Procedamos a efectuar las conexiones que incorporan el potenciómetro al circuito del receptor, de acuerdo con las relaciones mutuas que podemos apreciar en el esquema teórico del aparato.



Soldamos el terminal libre del condensador de 10 KpF al terminal de entrada del potenciómetro. Acto seguido, por medio de un trozo de cable de longitud suficiente, llevamos una conexión desde la toma media del potenciómetro a la pata 7 (rejilla) del zócalo. Por último, unimos el terminal de salida del potenciómetro a la toma de masa más próxima a él (puede ser la toma de masa del condensador variable). Esta conexión se hace con hilo desnudo.

Con estas conexiones hemos dejado debidamente incorporado al circuito el potenciómetro. Podemos pasar a una nueva operación. Será la operación final, cuyo objeto no es otro que incorporar el altavoz y su transformador al circuito amplificador del aparato. Vea cómo proceder:

COLOCACION DEL ALTAVOZ

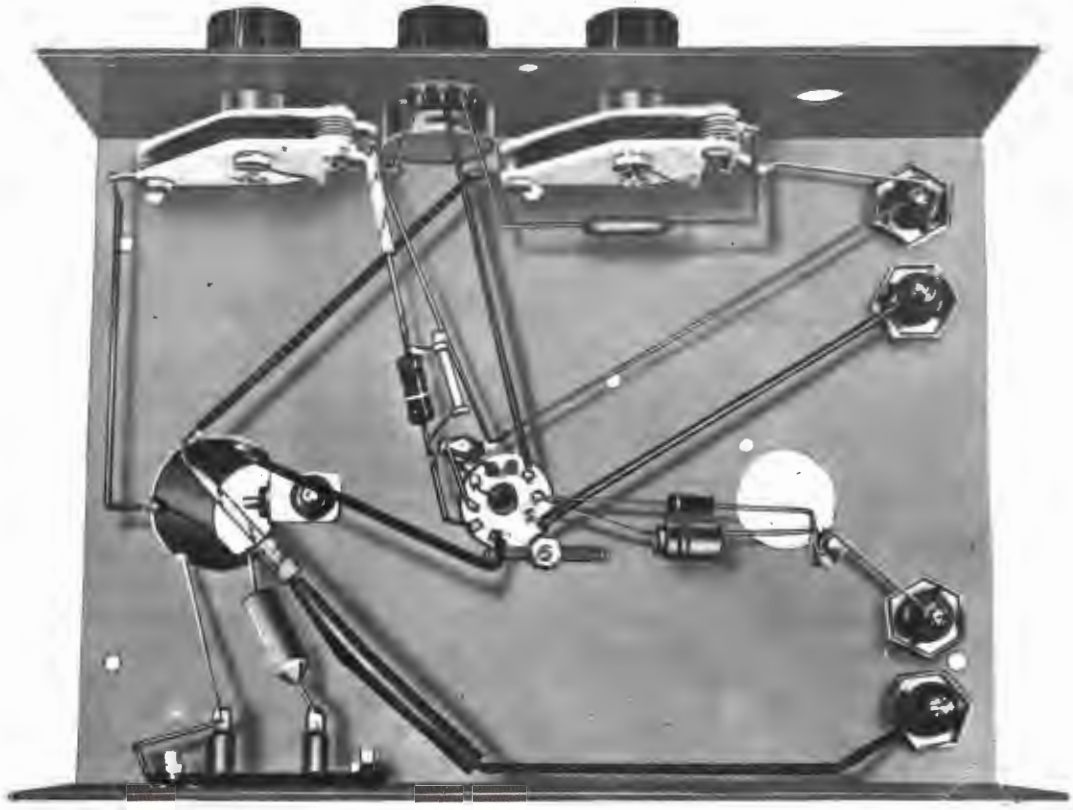
Preocupémonos primero de la sujeción del altavoz al chasis. Nada más fácil, puesto que al proyectarlo ya nos hemos preocupado de señalar todos los taladros que podían hacernos falta.

Esta previsión nos permite sujetar el altavoz por medio de dos pequeñas escuadras metálicas, unidas al chasis y al altavoz con el concurso de cuatro tornillos con tuerca de 1/8" de 10 mm de longitud. Basta ver el gráfico para proceder sin la menor duda.

Dos escuadras de hierro nos permitirán sujetar el altavoz al chasis.

CONEXIONADO DEL ALTAVOZ

Para la incorporación del altavoz al circuito, debemos suprimir del montaje del que hemos partido la placa *fono* y las conexiones que parten de ella. Es decir:

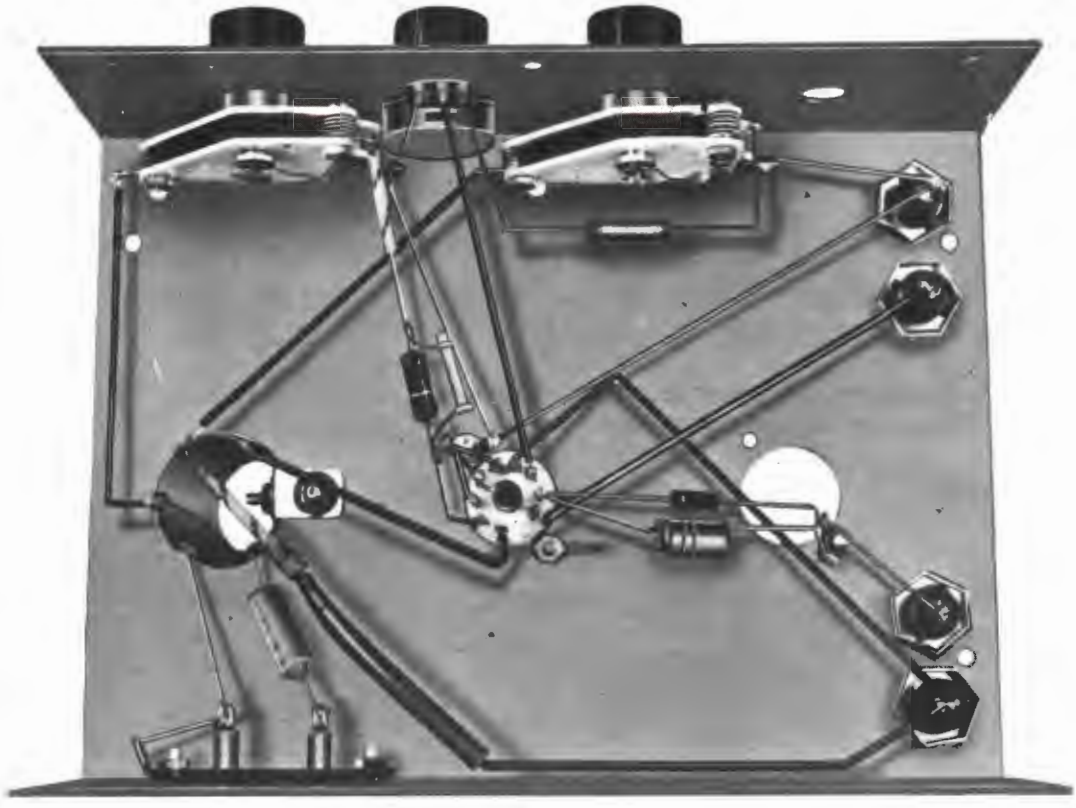


Debemos desoldar el hilo que va desde la pata 6 (placa) del zócalo a la placa fono. Quitaremos también el hilo que une la placa fono con la hembrilla negra de A-T. Quitaremos, finalmente, la placa fono, que ya no tiene objeto.

Una vez efectuadas estas supresiones, procederemos a la conexión del altavoz al circuito. Basta consultar el esquema de nuestro actual receptor para ver inmediatamente que la entrada del primario debe conexionarse a la entrada de A-T (hembrilla negra) y que la salida del mismo primario (7.000 Ω) debe ir directamente a la placa del triodo amplificador (pata 6 del zócalo).

Advierta que, al quedar el altavoz por encima del plano exterior del chasis, deberemos pasar los cables que salen del terminal cero Ω y del terminal 7.000 Ω del primario del transformador por el taladro del chasis, preparado precisamente para facilitar la introducción de éstos en el interior del chasis.

El gráfico que sigue lo detalla suficientemente.



Aquí se demuestra con claridad cómo la hembrilla negra de A-T queda conexionada a la entrada del primario del transformador del altavoz por un cable, que sale al exterior del chasis a través del taladro; y cómo también a su través pasa el cable que une la salida del primario con la pata 6 (placa) del zócalo de la ECC82.

Con ello hemos terminado nuestro primer receptor con altavoz. Conéctelo a la fuente de alimentación y tenga la satisfacción de escuchar y hacer oír a los demás las señales de radio lanzadas desde kilómetros de distancia.

¡Seguro que le acompaña el éxito!

lección práctica 20

Receptor a reacción con detección por rejilla. Preamplificación de B.F. por triodo. Amplificación de B.F. por pentodo

Paso a paso, sin precipitaciones pero con seguridad, hemos progresado notablemente en lo que se refiere a la teoría de la amplificación del sonido. Un problema de amplificación de potencia, en definitiva.

Nuestro aparato a reacción se ha visto perfeccionado con la adición de una etapa amplificadora que utiliza el segundo triodo de la ECC82. El acoplamiento del altavoz, sin duda, ha constituido una mejora muy notable. Pero no es suficiente; el receptor a reacción puede aún mejorar en el sentido de obtener mayor volumen y mejor calidad en el sonido. A ello dedicaremos esta lección práctica.

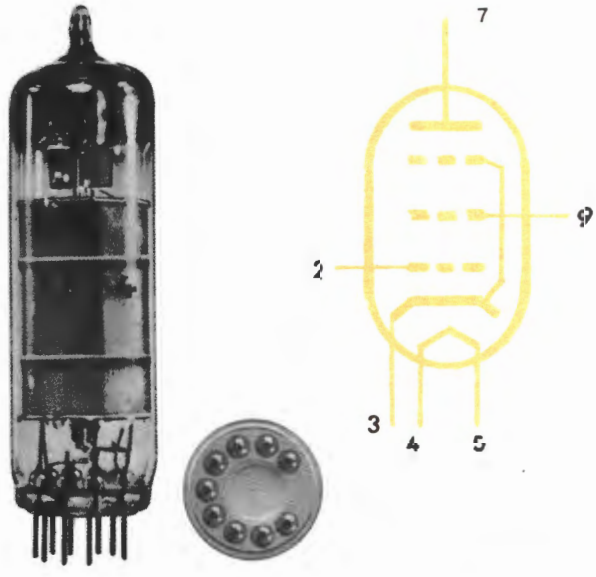
La manera de lograrlo consiste en añadir al receptor una nueva etapa amplificadora; y con respecto a las válvulas idóneas para obtener una potencia de salida realmente notable, algo hemos dicho. Por ejemplo, que existen unos triodos de potencia.

Pero tales triodos han caído en desuso y no es cuestión de trabajar con componentes anticuados. Recuerde que hemos citado la existencia de unas válvulas de reducidas dimensiones (tetrodos y pentodos) que también solucionan el problema de la obtención de potencias de salida considerables, sin distorsión, claro. Prometimos su estudio para la próxima lección de RADIOTECNIA; pero no hay ningún inconveniente en que, conociendo la misión que les encomendamos, se añada una nueva etapa amplificadora al receptor que poco a poco vamos perfeccionando, agregándole un pentodo como segunda etapa amplificadora de B.F.

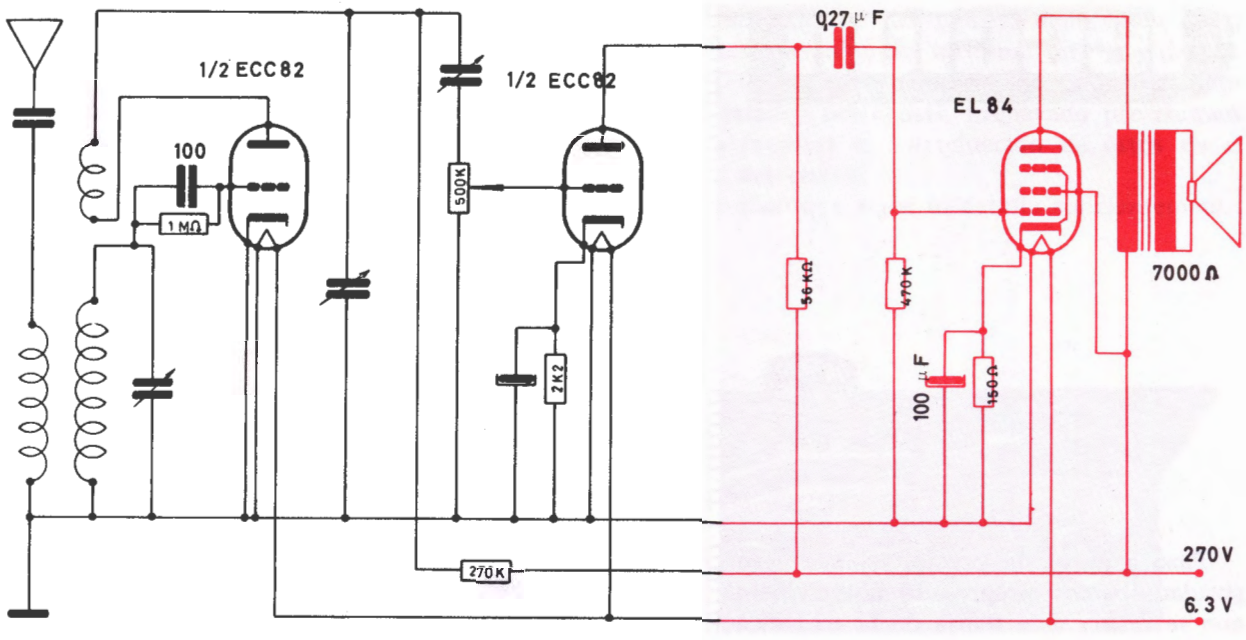
Esta decisión, claro, representa anticipar algunos conceptos en el sentido de proporcionarle un conocimiento descriptivo de lo que es un pentodo.

Un pentodo, como veremos en la próxima lección, puede definirse como un triodo al que se han añadido dos nuevas rejillas. El resultado es un mayor poder amplificador que permite obtener mayores señales a la salida sin distorsión.

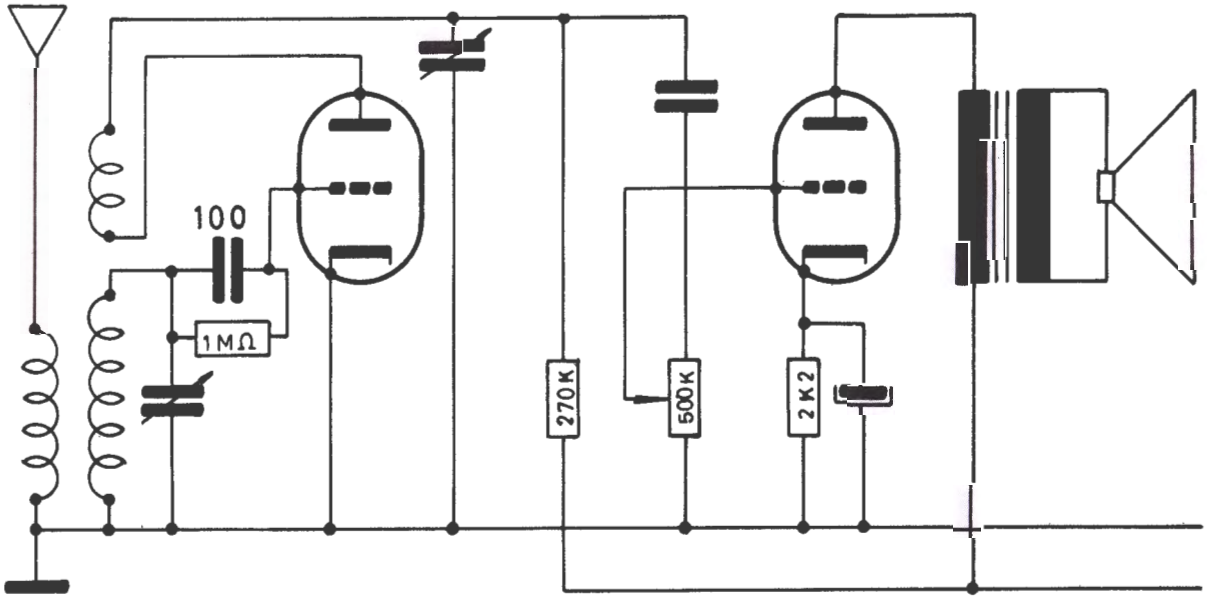
El pentodo que vamos a emplear es un EL84, cuya representación simbólica es lo primero que vamos a proporcionarle. Añadimos una fotografía



Fotografía y esquema de la EL84, donde se relacionan sus patillas y los electrodos correspondientes.



Este es el esquema total del receptor que deseamos montar. La parte dibujada en rojo (a la derecha de la separación de trazos verticales) corresponde a la etapa de salida con amplificación por pentodo. Todo lo demás, trazado en azul, corresponde al circuito del aparato anterior, que repetimos a continuación.



de la válvula y relacionamos sus patillas con las conexiones representadas esquemáticamente.

En definitiva, nuestra práctica consiste en añadir este pentodo al receptor anterior, de forma que actúe como una nueva etapa amplificadora que permita obtener una potencia de salida sin distorsión mucho mayor de la que obteníamos con un simple triodo.

Esta reforma requiere un reajuste del circuito de nuestro receptor; y para darnos cuenta de las modificaciones a que nos veremos obligados, nada mejor que efectuar un estudio comparativo de los dos esquemas. Es decir: compararemos el esquema del receptor con amplificador por triodo con el esquema del nuevo aparato con amplificación de tensión por triodo y amplificación de potencia por pentodo.

Vea los esquemas y compárelos:

Comparando ambos esquemas podrá observar que la modificación, a grandes rasgos, consiste en sustituir el altavoz del receptor con amplificación por triodo por una resistencia de 56 KΩ. Con ello, usted lo sabe, el segundo triodo, que funcionaba como amplificador de potencia cargado por el altavoz ($R_c \sim R_i$), se convierte en un amplificador de tensión, puesto que la resistencia de carga (56 KΩ) es muy superior a la resistencia interna del triodo. Ahora será el pentodo quien ejerza las funciones de un amplificador de potencia cargado por el altavoz.

Observe cómo las dos etapas amplificadoras estan acopladas por un grupo RC formado por la resistencia de 470 KΩ y el condensador de 0'027 microfaradios.

No decimos más, porque será al estudiar la teoría de tetrodos y pentodos cuando hablaremos extensamente de las condiciones técnicas bajo las que deben funcionar dichas válvulas.

Podemos hacer la lista de los nuevos componentes:

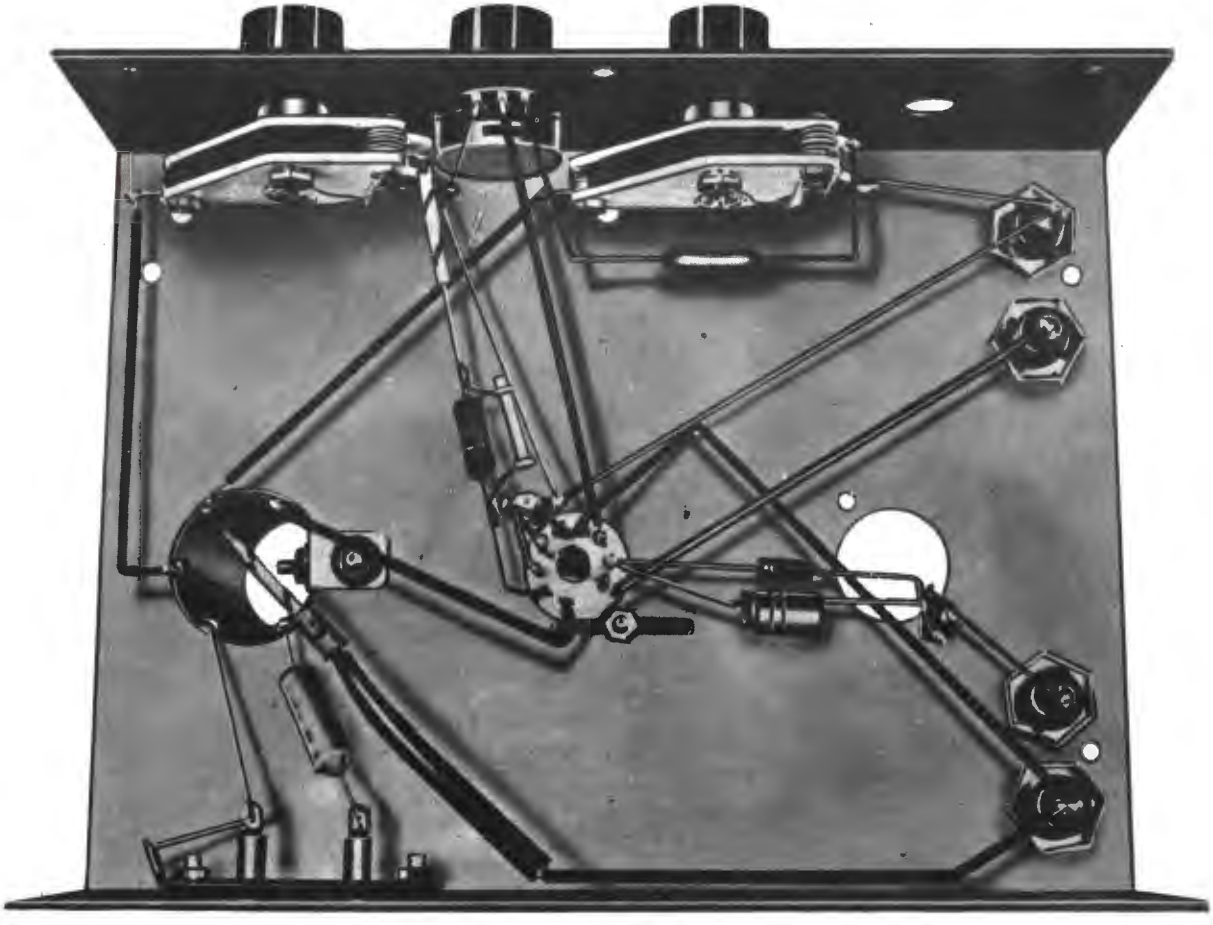
Una resistencia de 56 KΩ.
Una resistencia de 150 Ω.
Una resistencia de 470 KΩ.
Un condensador de 0'027 μF.
Un condensador de 100 μF.
Una válvula EL84.

EL MONTAJE

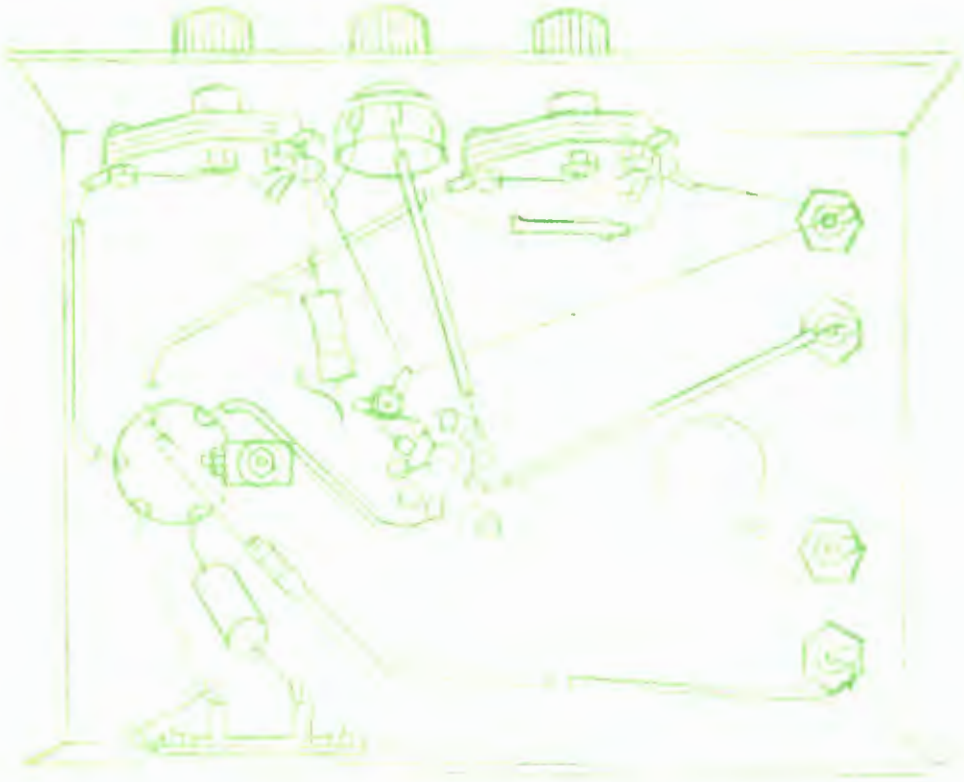
Sabemos lo que debemos hacer y nos falta saber cómo hacerlo.

Aunque estamos casi seguros de que usted empieza a sentirse capaz de actuar por su cuenta, de interpretar prácticamente el esquema dado, queremos asegurar el éxito de esta práctica demostrándole, como siempre, en forma gráfica las operaciones efectuadas sobre el chasis.

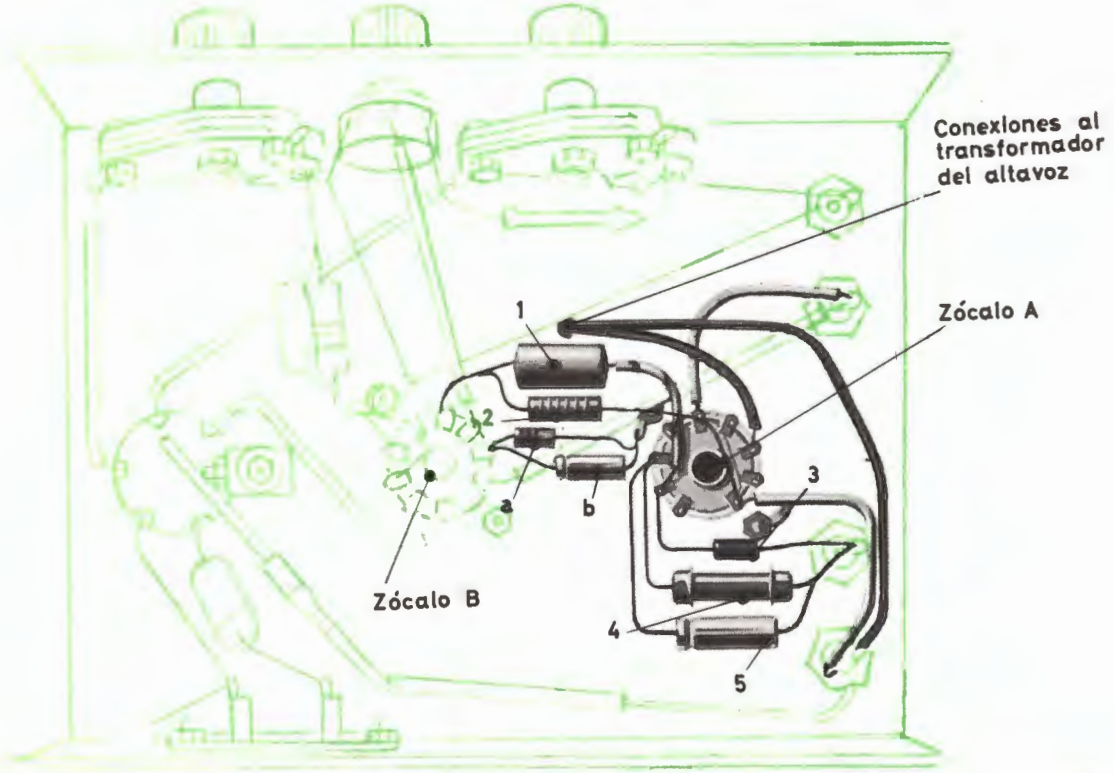
Lo mismo que hemos hecho con los esquemas, hagamos con los montajes. Comparémoslos.



Este es el interior del receptor a reacción con detección por rejilla y amplificación por triodo, control de volumen y altavoz, que hemos estudiado. Este circuito debe convertirse en el de un receptor a reacción, con las mismas características pero, además, con una etapa de salida formada por un pentodo actuando de amplificador de potencia.



Estado en que debemos dejar nuestro montaje para añadirle con comodidad la etapa de salida con el pentodo EL84.



Vea en negro lo que debemos añadir a nuestro circuito: 1. Condensador de 0'027 μF. — 2. Resistencia de 56 KΩ. — 3. Resistencia de 470 KΩ. — 4. Resistencia de 150 Ω. — 5. Condensador de 100 μF. La resistencia "a" y el condensador "b" son los mismos que forman el grupo RC perteneciente al cátodo del triodo amplificador de tensión. Es decir: son los mismos componentes del receptor anterior que hemos desoldado.

La comparación de ambos montajes nos lleva a determinar cuál es la parte del circuito que podemos aprovechar íntegramente del receptor anterior.

Observe que, desde un punto de vista práctico, podemos considerar como intocable todo lo que en el gráfico siguiente va impreso en color. De lo demás, aunque técnicamente también aprovechamos algo, es mejor quitarlo todo, para poder operar con mayor libertad.

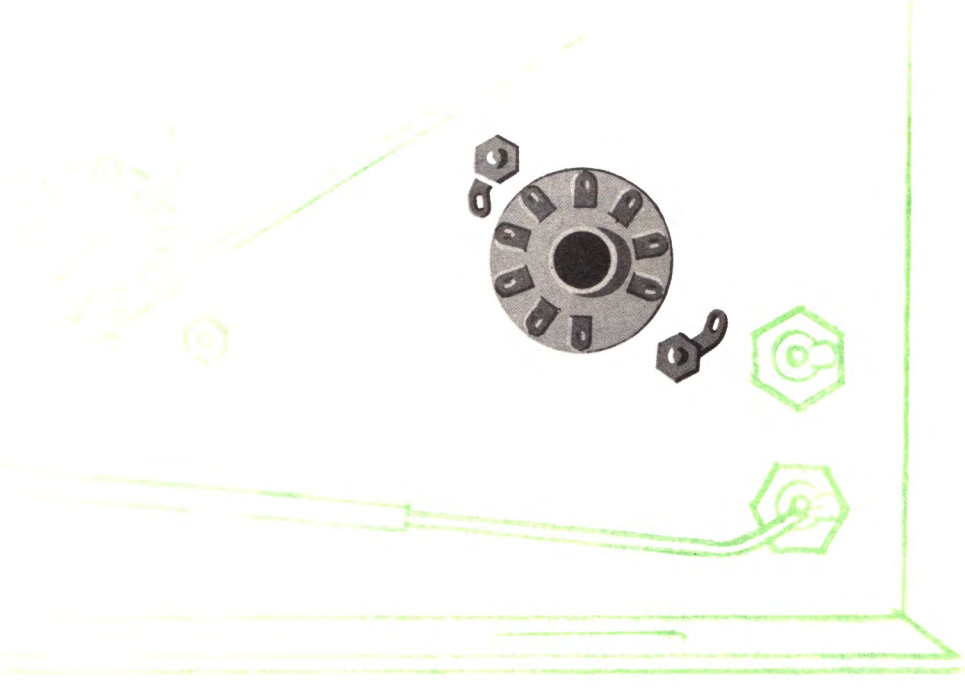
Es decir: nuestra primera operación consistirá en dejar nuestro montaje con todo lo que se indica en color desoldando todo lo demás. Se entiende, claro, que no hace falta quitar el altavoz; bastará con desoldar sus conexiones a la hembrilla, y al zócalo.

VAYAMOS POR PARTES

Es evidente que con el gráfico anterior puede atreverse a alambrar la parte nueva de nuestro receptor; nos parece un gráfico de claridad meridiana. Pero como nos gusta ir sobre seguro, vamos a detallar paso a paso las operaciones a realizar, más que nada para establecer en ellas un orden lógico que elimine dificultades, sobre todo en las últimas etapas del alambrado.

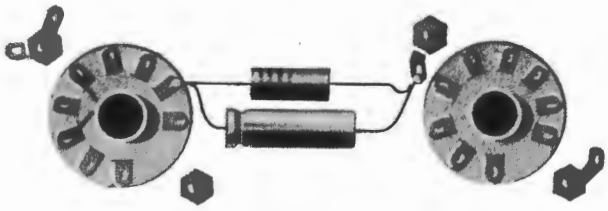
Observará que nuestro campo de operaciones queda comprendido prácticamente en la mitad derecha (según lo vemos) del chasis; concretamente desde la mitad del zócalo B hacia la derecha. Por tanto, nos limitaremos a representar este sector del chasis, lo que va a permitirnos trazar la figura en mayor tamaño, lo que nos hará ganar en claridad.

PRIMERA OPERACION **Colocación del zócalo A para el pentodo.**



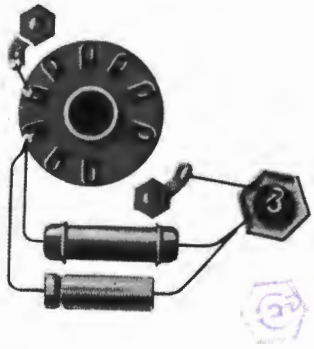
Colocaremos el zócalo A para el pentodo, cuidando de que las patillas del mismo mantengan la misma posición relativa que demostramos en este gráfico. Es decir: la patilla 1 será la más próxima a la parte inferior del chasis. Al fijar el zócalo, añadiremos las tomas de masa que denominamos 1 y 2.

SEGUNDA OPERACION Colocación del grupo de polarización del triodo amplificador de tensión, desde el cátodo a masa.



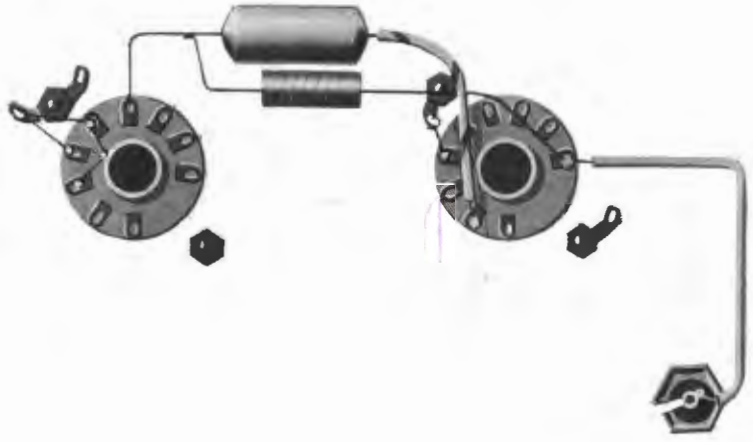
Desde la patilla 8 del zócalo B partirán los bornes del grupo RC hasta alcanzar por el otro extremo la toma de masa 1, donde quedarán soldados ambos componentes. Aprovecharemos esta misma soldadura para establecer una conexión a masa para la patilla 4 del zócalo A, correspondiente a la salida de filamento del pentodo.

TERCERA OPERACION Colocación del grupo de polarización correspondiente al cátodo del pentodo.



De la patilla 3 (cátodo) del zócalo del pentodo haremos salir un grupo RC formado por una resistencia de 150 Ω y un condensador de 100 μF que conectaremos a masa a través de la hembrilla verde a AT.

CUARTA OPERACION. Colocación del condensador de 0'027 F y de la resistencia de 56 K

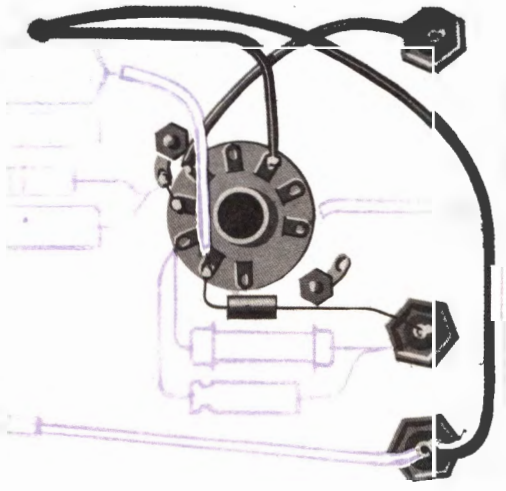


El condensador de 0'027 μF queda conectado entre la patilla 6 del zócalo B y la patilla 2 del zócalo A. Es decir: de la placa del doble triodo ECC82 a la primera rejilla del pentodo EL84. La resistencia de 56 KΩ queda conectada también a la placa del triodo amplificador y a la segunda rejilla del pentodo (patilla 9 del zócalo A). Desde esta misma patilla 9 del zócalo A haremos una conexión con hilo cubierto hasta la hembrilla negra de AT (positivo).

Suponemos que no sigue únicamente en plan realizador todas estas operaciones, sino que se preocupa por comprobar a través del esquema técnico cómo estas conexiones son precisamente las que corresponden a las exigencias del esquema. Conviene que haga esta comprobación.

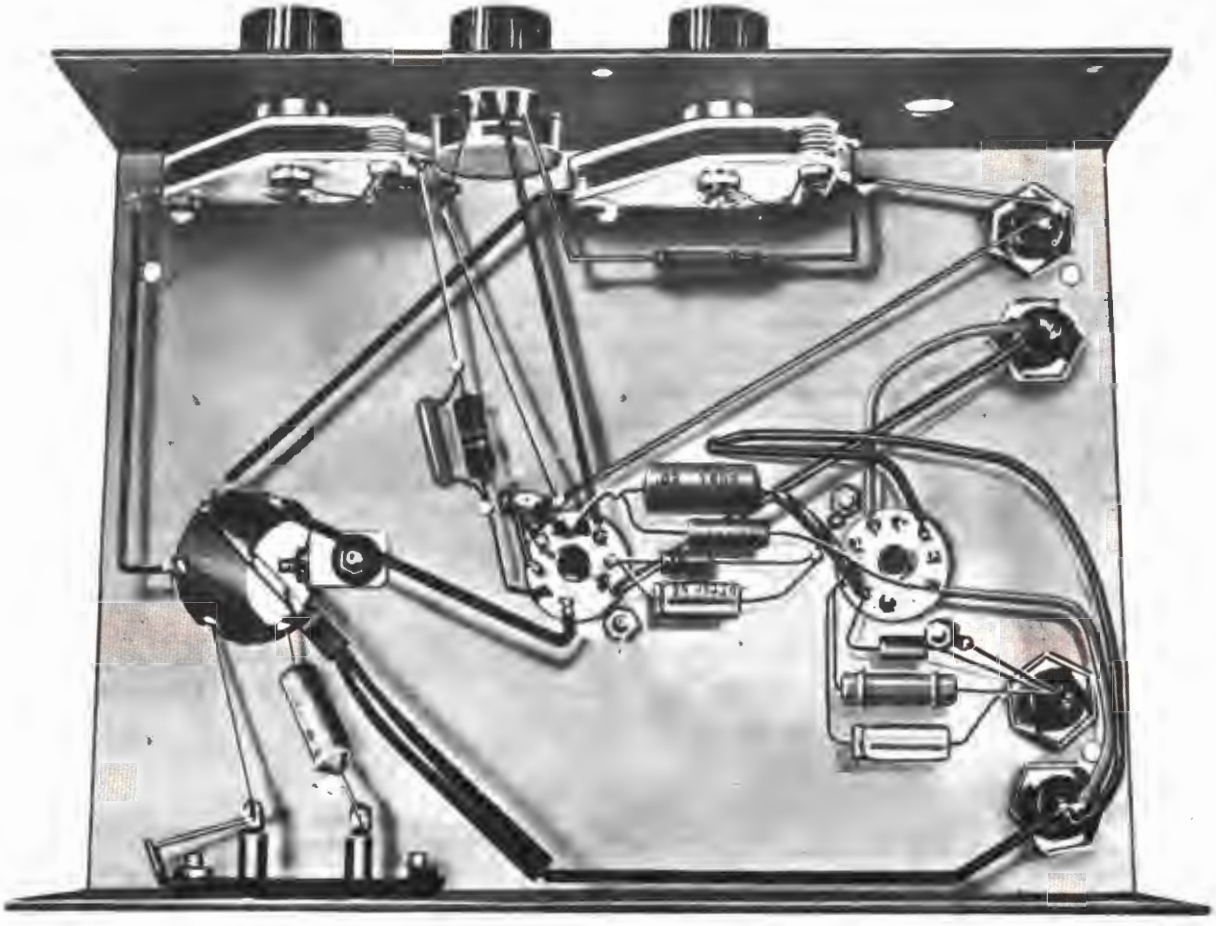
QUINTA OPERACION. Colocación de la resistencia de 470 K . Conexión del altavoz. Conexión del filamento de la EL84.

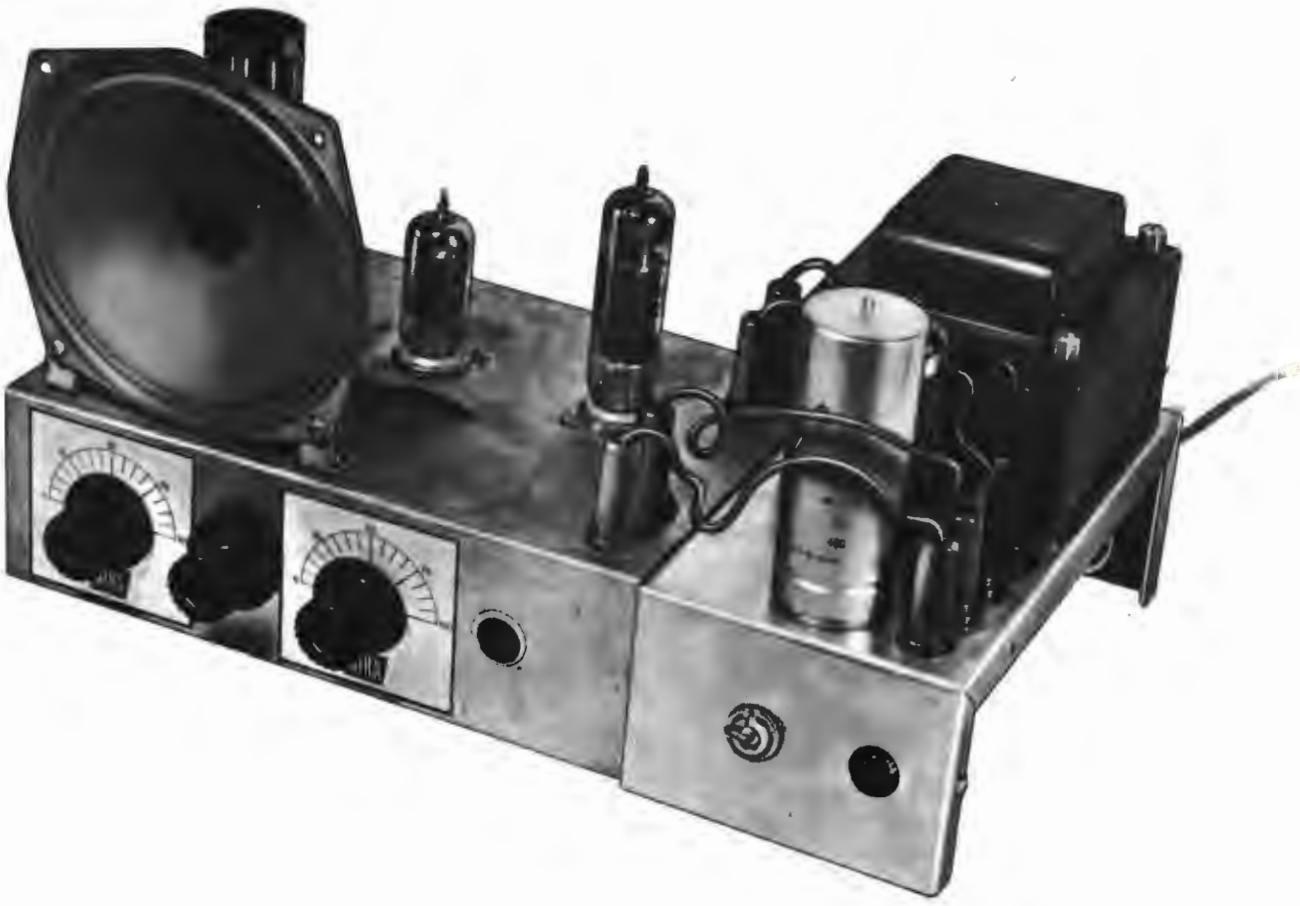
La resistencia de 470 KΩ debe conectarse entre la patilla 2 del zócalo A (primera rejilla) y masa, lo que hacemos a través de la hembrilla verde de AT. De la patilla 5 del zócalo A (filamento) a la hembrilla roja de baja tensión, estableceremos la conexión de entrada para la alimentación del filamento del pentodo. El altavoz queda conectado a la placa del pentodo (patilla 9) y a la toma positiva de AT (hembrilla negra).



Damos por seguro que usted se ha dado perfecta cuenta de que el condensador de 0'027 μF y la resistencia de 470 KΩ forman el grupo RC encargado de eliminar la componente continua de la señal preamplificada por el segundo triodo de la ECC82. Y como con ello nos demuestra que sabe el valor de cada una de las conexiones efectuadas, puede ver la totalidad del alambrado de nuestro nuevo receptor, que coideramos como la culminación del receptor a reacción.

Hemos alcanzado la cima de una primera ascensión. La hemos coronado con este receptor a reacción con dos etapas amplificadoras y control de volumen. Cuando reemprendamos la construcción de receptores será ya para hacerlo con superheterodinos.





Añadimos esta foto para que vea el aspecto externo del receptor junto a la fuente de alimentación. Empieza a tener el aspecto de un aparato de calidad. No deja de ser un cuatro válvulas: la EZ81 como rectificadora en la fuente de alimentación, los dos triodos de la ECC82 como detector y preamplificador, y por último la EL84 como amplificadora de potencia.

Lección práctica 24

Montaje de un amplificador de B.F.

(Primera parte)

CARACTERISTICAS

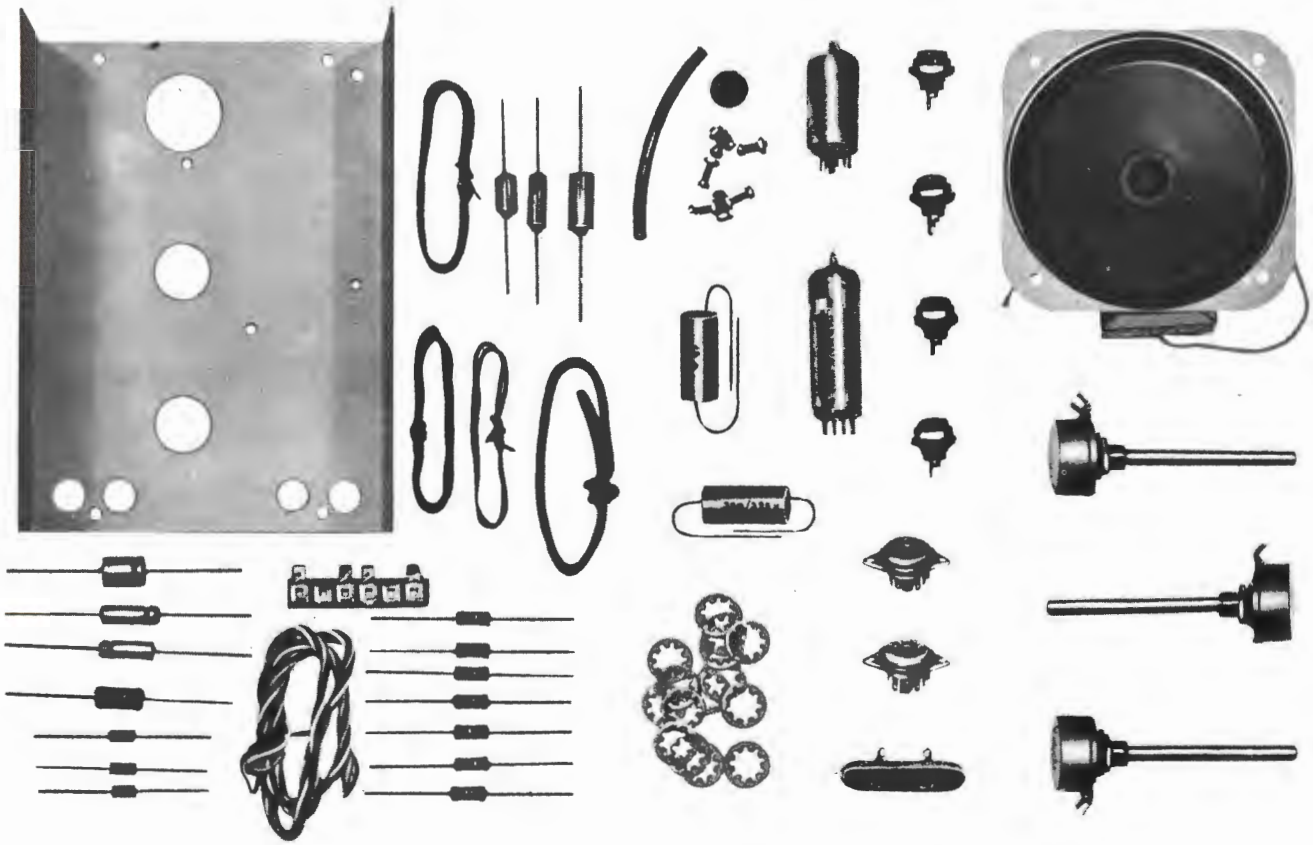
Con este capítulo de PRÁCTICAS iniciamos la construcción de un amplificador de B.F. especialmente indicado para tocadiscos.

Lleva control de volumen y control independiente para agudos y graves. Su potencia de salida es de unos 5 vatios cuando se le aplica un altavoz de tamaño grande (8" en adelante).

Nosotros, sin embargo, trabajaremos con el mismo altavoz de 4 1/2" que nos ha servido para los receptores a reacción. Para nuestros fines experimentales es suficiente.

Se trata de una práctica con auténtico valor profesional, de un circuito fácilmente adaptable a una maleta tocadiscos.

MATERIAL NECESARIO



En la página anterior tiene la fotografía de todo el material que forma parte del montaje que vamos a describir.

Este material es:

UN CHASIS. Vamos a servirnos (en plan de estudio) del mismo que se ha utilizado para los receptores a reacción. Usted ya comprende que el chasis habría de ser muy diferente si deseásemos incorporar este amplificador a una maleta tocadiscos.

UN ALTAVOZ, con transformador de salida de $Z_p = 7000\ \Omega$. Aunque el circuito amplificador puede accionar un altavoz de ocho pulgadas (dando una potencia de salida de 5 W) nos serviremos del altavoz de 4 1/2". En este caso, la potencia de salida será menor, ya que el altavoz no es capaz de manejarla sin distorsión.

DOS POTENCIÓMETROS LINEALES de 500 KΩ.

UN POTENCIÓMETRO LOGARÍTMICO de 500 KΩ.

Observe que distinguimos entre potenciómetros lineales y potenciómetros logarítmicos. No se preocupe, de momento, por el significado de estas denominaciones. La diferencia no es externa, desde luego, y estos componentes llevan la indicación de su valor y clase grabada en su caja metálica.

RESISTENCIAS

Dos de 2200 Ω 1/2 W. — Tres de 100 KΩ 1/2 W. — Una de 470 KΩ 1/2 W. — Una de 150 Ω 1 W. — Una de 220 KΩ 1/2 W. — Una de 56 KΩ 1/2 W. — Dos de 10 KΩ 1/2 W. — Una de 39 KΩ 1/2 W.

CONDENSADORES

Uno de 250 pF (mica). — Dos de 27000 pF (poliester). — Uno de 1000 pF (cerámico). — Uno de 100 μF 35 V (electrolítico). — Uno de 50 μF 25 V (electrolítico). — Uno de 50 μF 12 V (electrolítico). — Dos de 8 μF 350 V (electrolítico).

UNA PLAQUITA FONO.

HILO BLINDADO (unos 30 cm).

HILO DE CONEXIÓN aislado con plástico rojo (unos 35 cm).

HILO DE CONEXIÓN aislado con plástico azul (unos 30 cm).

HILO DE CONEXIÓN aislado con plástico negro (unos 15 cm).

CABLE DE CUATRO CABOS aislados con plástico de distinto color (rojo, verde, blanco y amarillo, por ejemplo). Unos 20 cm.

MACARRÓN PLÁSTICO (unos 20 cm).

UNA GOMA PASAHILOS.

CUATRO HEMBRILLAS (una roja, dos verdes y una negra).

TORNILLOS de 1/8 con tuerca (16).

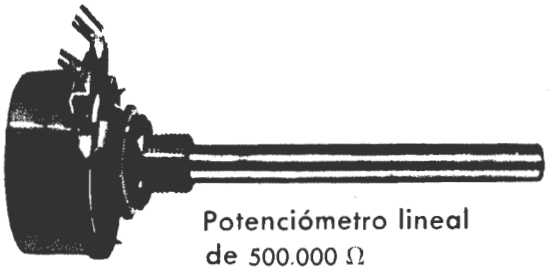
DOS PORTALÁMPARAS NOVAL.

DOS TERMINALES DOBLES y DOS TERMINALES SENCILLOS.

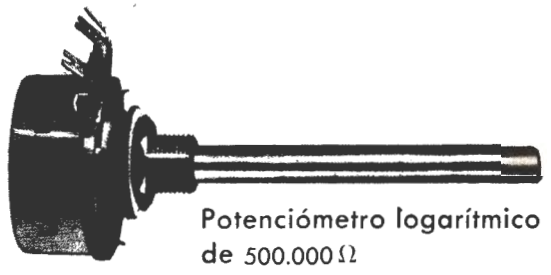
UNA VÁLVULA EL84.

UNA VÁLVULA ECC82.

Con todos estos componentes vamos a formar un circuito electrónico capaz de amplificar las señales a través de dos pasos amplificadores de tensión (ECC82) y un paso amplificador de potencia, que tendrá lugar en la válvula de salida EL84.



Potenciómetro lineal de 500.000 Ω



Potenciómetro logarítmico de 500.000 Ω

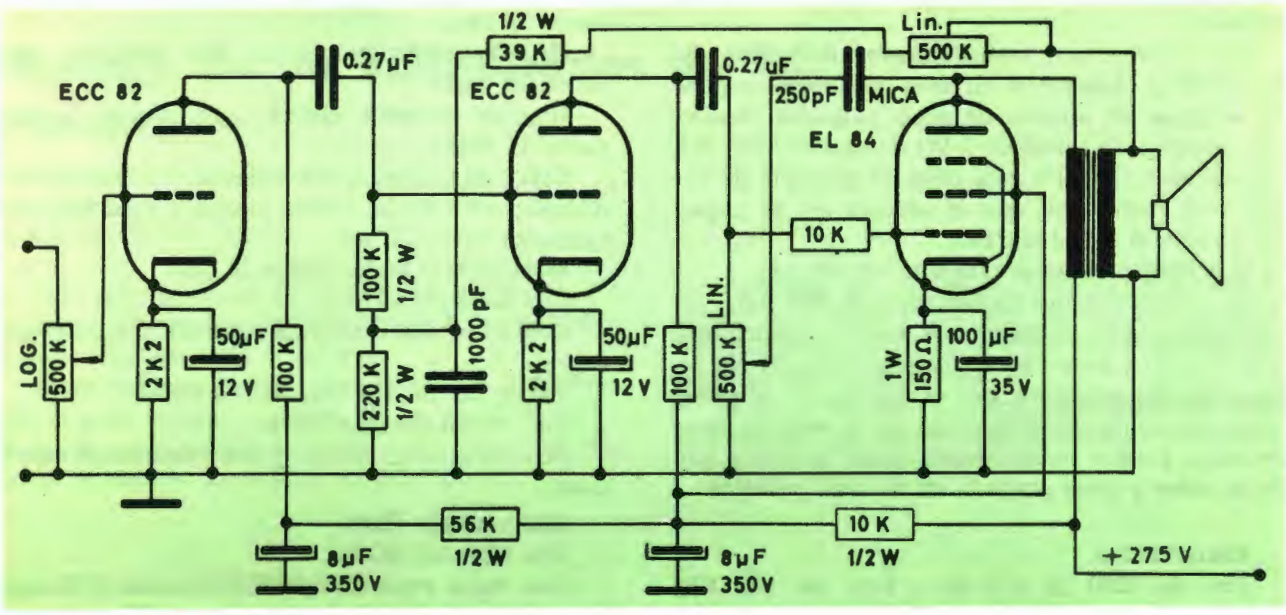
EL MONTAJE

Pasemos de las palabras a los hechos y comentemos, paso a paso, las distintas operaciones que nos llevarán a la puesta en marcha de nuestro amplificador. Veremos algunos detalles nuevos, siempre interesantes de conocer en vistas a una mejor capacitación técnica.

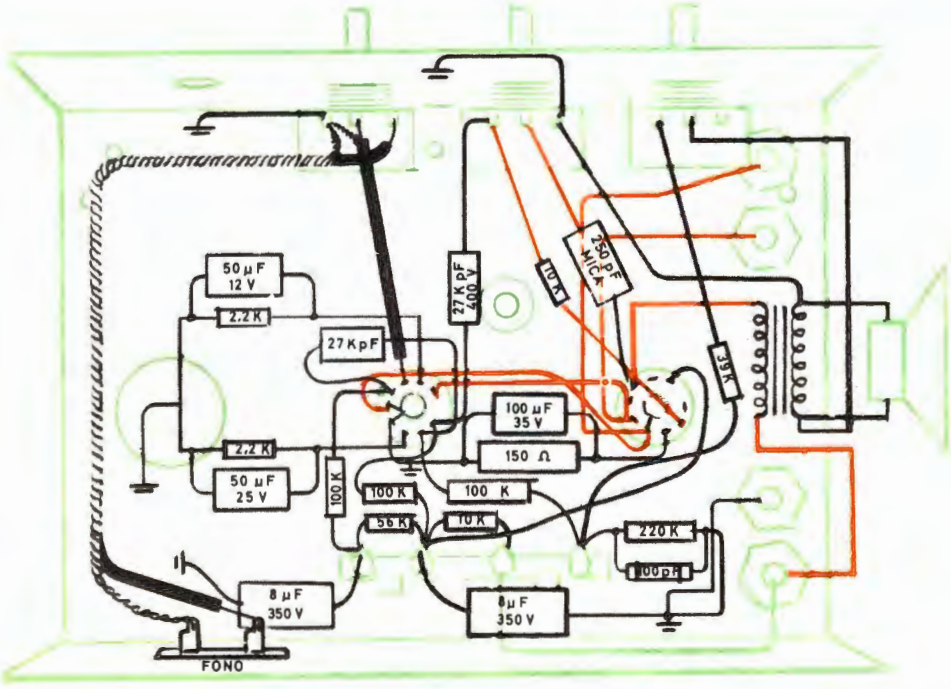
EL ESQUEMA

Ya sabemos que no hay montaje que no parta del esquema teórico del circuito. Obrando en consecuencia, nuestra primera preocupación debe consistir en saber qué nos proponemos hacer

Y del esquema teórico, podemos pasar al esquema práctico. No es nada imprescindible; pero, sin duda, representa una mayor ayuda para disponer los elementos de una forma racional.



Esquema de un amplificador de B.F. con tres etapas. Se ha suprimido la fuente de alimentación, que puede ser la misma que se ha venido utilizando.



Esquema práctico del amplificador de B.F. representado por el esquema teórico anterior.

PRIMERA OPERACION. Sujeción de elementos no soldados

Es natural que sea ésta la primera operación: colocar los potenciómetros, los zócalos, hembrillas, terminales a masa, regleta y plaquita FONO. Representan los principales puntos de referencia donde quedarán sujetos los demás componentes por medio de uniones soldadas.

No creemos que pueda encontrar inconveniente alguno en la colocación de dichos elementos.

La regleta y los terminales a masa se fijarán con tornillos con tuerca sobre el taladro que identificará, sin error posible, con sólo consultar el gráfico que ilustra esta primera operación.

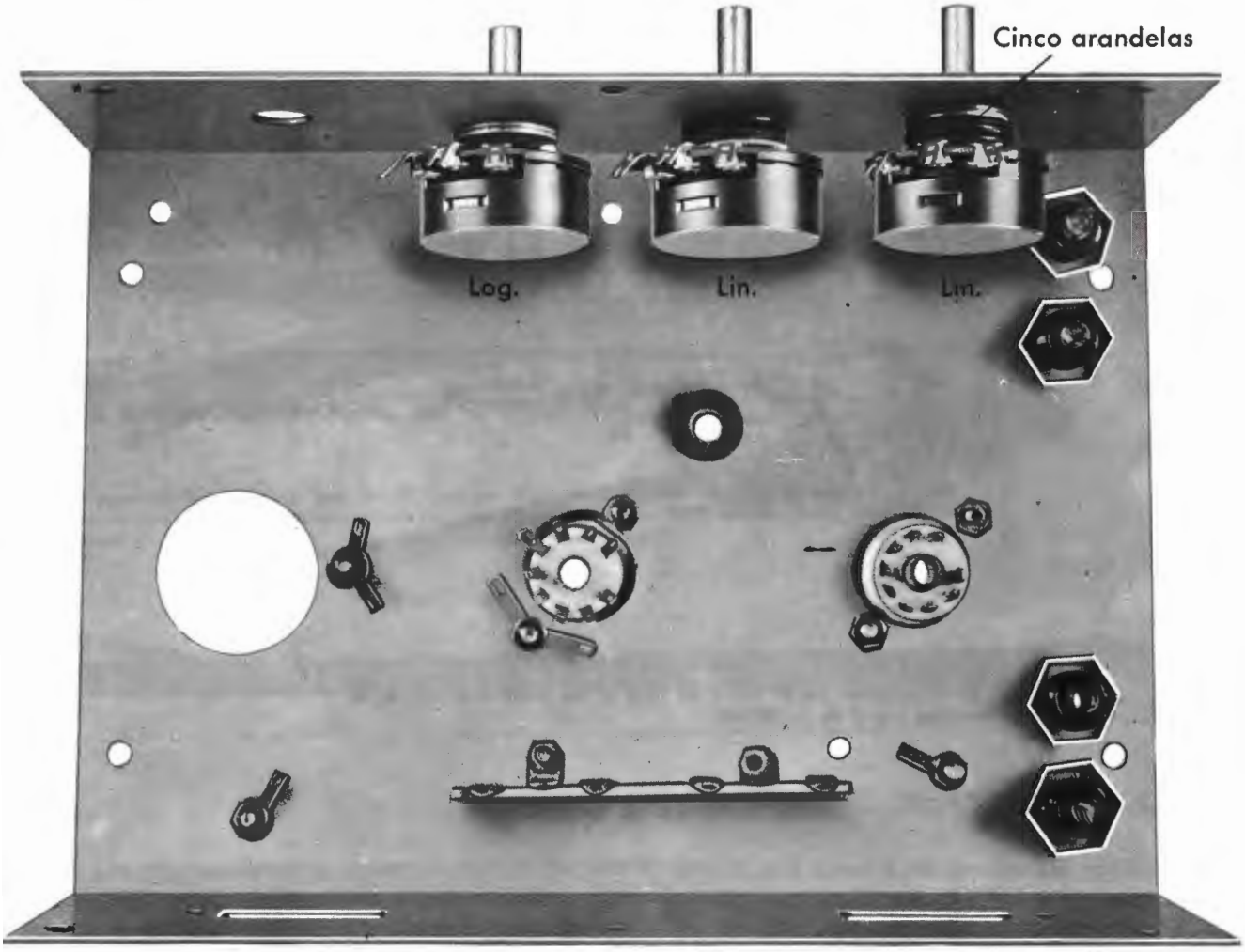
Donde quizás conviene añadir algo es en lo relativo a los potenciómetros. Observe en el siguiente gráfico cómo estos elementos quedan separados del chasis por cinco arandelas.

En el montaje que nos sirve de ejemplo se han cortado los ejes de los potenciómetros. Cuestión de estética.

Mejor será que no los corte, porque si los deja enteros podrá aprovecharlos para otros montajes que quizás requieran un eje más largo.

Verá que no decimos nada del altavoz. Es mejor que, en principio, no lo incorpore al chásis; su peso y su volumen dificultarían el manejo del conjunto. Es mucho más cómodo reservar la conexión del altavoz como última operación del alambrado.

Recomendamos que todas las conexiones a masa (los terminales) queden apretados *a conciencia*. Conviene asegurar un perfecto contacto, por lo cual debe ocuparse de que en estos puntos de



Así deben quedar dispuestos los elementos directamente sujetos al chasis. Importa muchísimo que NO SE EQUIVOQUE AL SITUAR LOS POTENCIOMETROS. Observe que, de derecha a izquierda aparecen dos potenciómetros lineales y uno logarítmico.

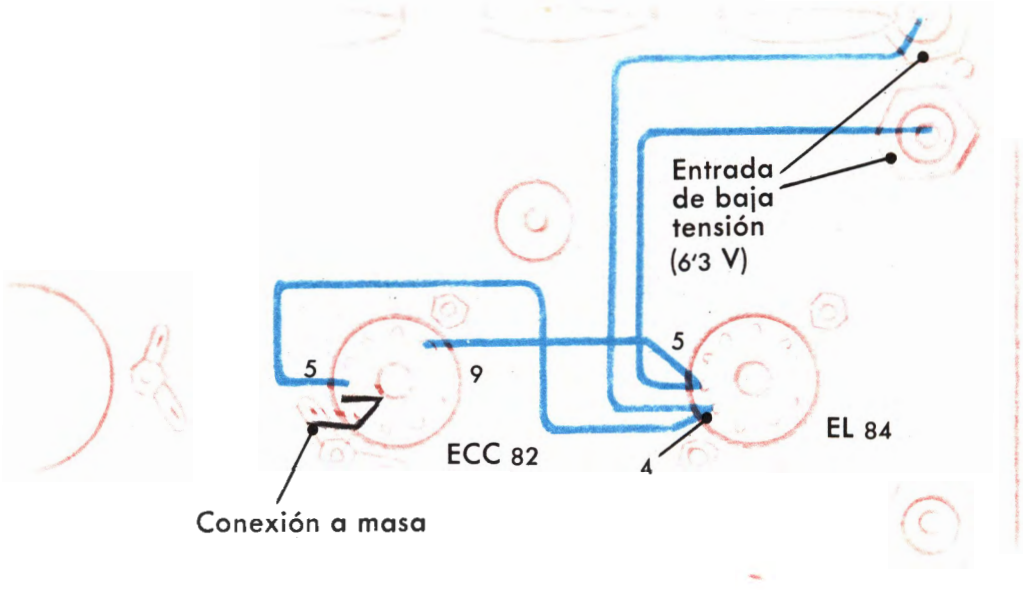
contacto entre chasis y terminal haya desaparecido toda señal de suciedad, suponiendo, claro, que advierta su existencia. Un algodón humedecido en alcohol o gasolina frotado por la superficie del chasis es un remedio suficiente para conseguir el objeto perseguido.

SEGUNDA OPERACION. - Conexiones de filamentos

No ofrece la menor complicación. Pero sí ofrece una particularidad, frente a las conexiones de filamentos que hemos visto hasta aquí, en el sentido de que, en un amplificador, los filamentos se conectan con dos hilos; no como en los casos anteriores donde era el chasis uno de los elementos conductores.

De acuerdo con las recomendaciones que podrá leer en la lección 24, conviene que no sea el chasis lo que actúe de conductor para los filamentos. Evitaremos zumbidos.

Una advertencia: el conductor que une la pata 5 de la ECC82 a la pata 4 de la EL84 está conectado a masa, y por tanto debe ser el que necesariamente vaya a la hembrilla verde. De otra forma provocaría usted un cortocircuito en el secundario de 6'3 V del transformador, con el consiguiente riesgo de quemar el bobinado.



Estas son las conexiones de filamentos. De la toma de baja a las patillas 4 y 5 de la EL84 y desde aquí a las patillas 9 y 5 de la ECC82.

TERCERA OPERACION. - Conexiones a masa

Cuatro son las conexiones a masa que deberemos efectuar, una de las cuales (filamento a masa) queda representada en el gráfico anterior.

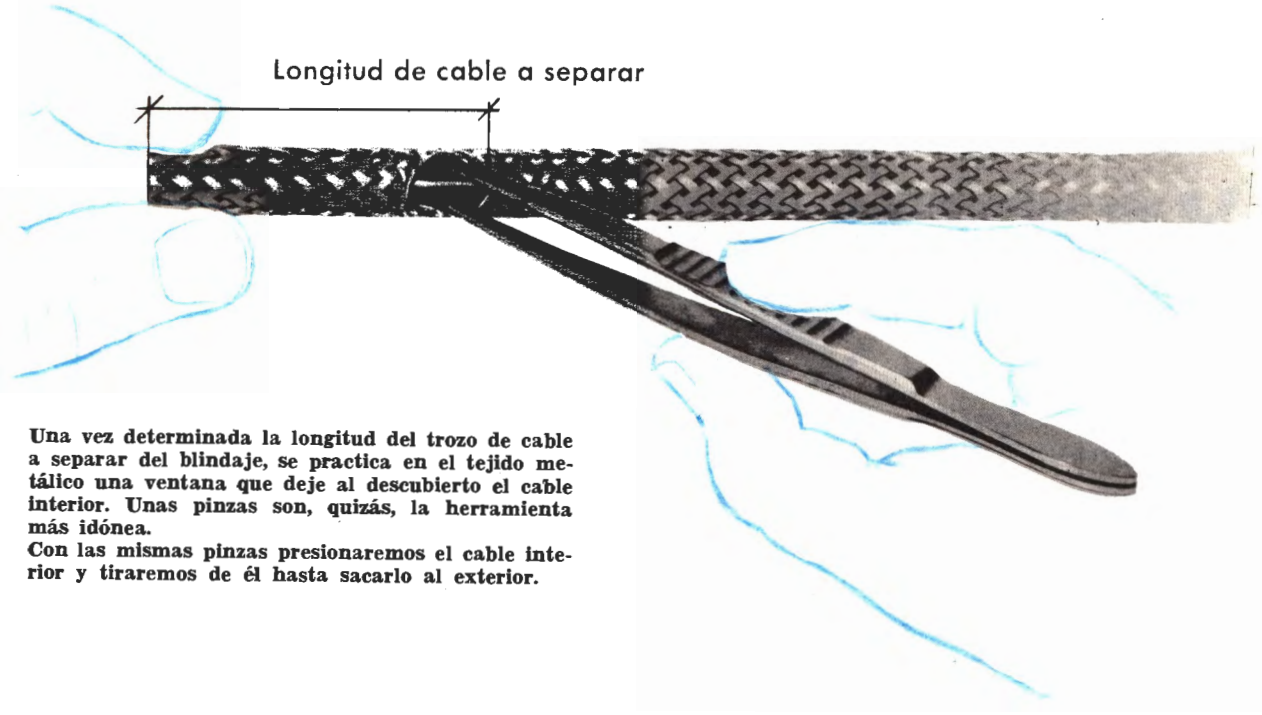
Dos de estas conexiones revisten caracteres especiales; son las que se refieren al cable blindado.

Este cable, normalmente cubierto con plástico, lleva además otra cubierta trenzada con finísimos hilos metálicos. De su utilidad hablaremos muy pronto.

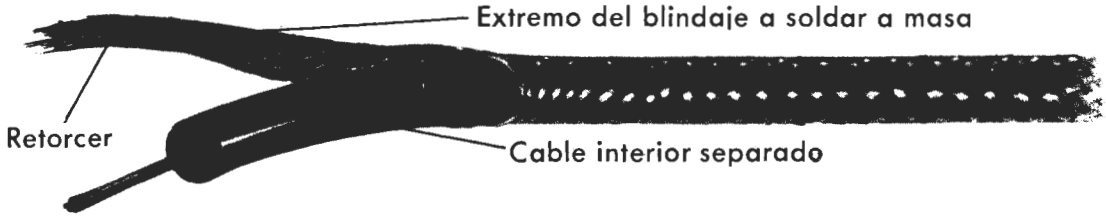
Lo que ahora nos interesa es conocer la manera correcta de sacar el conductor y su cubierta de plástico del interior del blindaje. No citaremos las formas incorrectas de hacerlo, sino tan sólo la que consideramos buena.

COMO TRATAR EL CABLE BLINDADO - Separación del blindaje

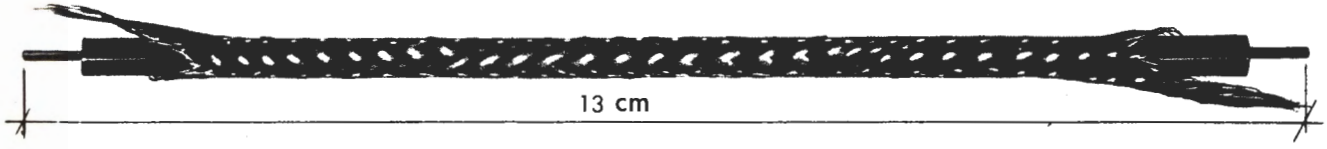
Con dibujos que representan un extremo de cable blindado, vamos a enseñar la manera correcta de separar el blindaje del cable propiamente dicho.

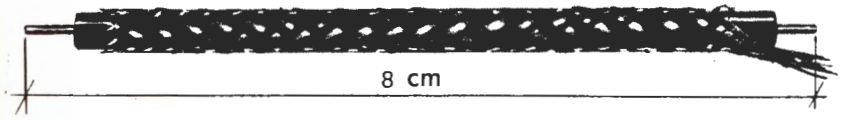


Una vez determinada la longitud del trozo de cable a separar del blindaje, se practica en el tejido metálico una ventana que deje al descubierto el cable interior. Unas pinzas son, quizás, la herramienta más idónea.
Con las mismas pinzas presionaremos el cable interior y tiraremos de él hasta sacarlo al exterior.



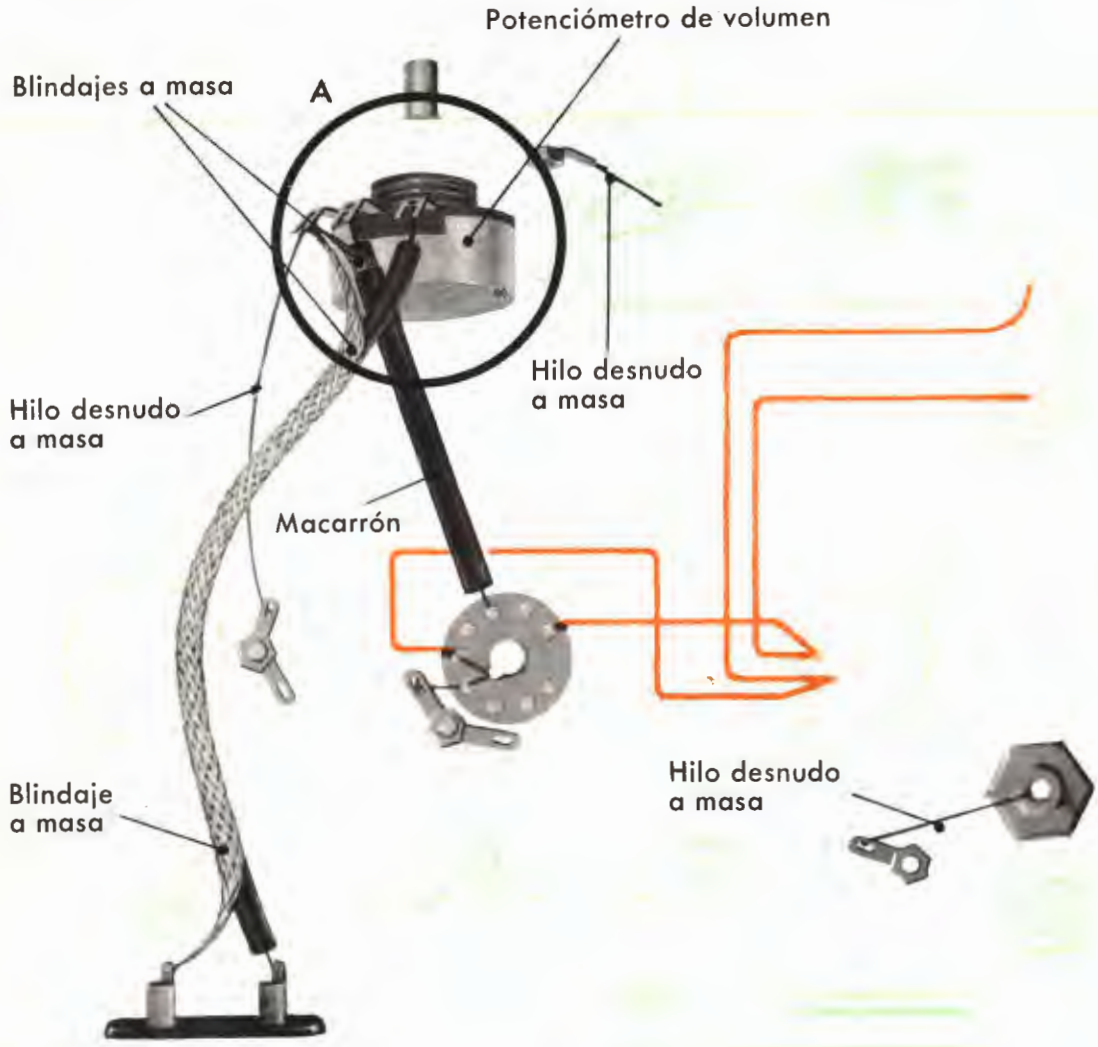
El extremo del blindaje que habrá quedado libre se retorcerá con los dedos para evitar que se deshilache. Conviene mantener los hilos del tejido bien unidos para facilitar la conexión a masa.

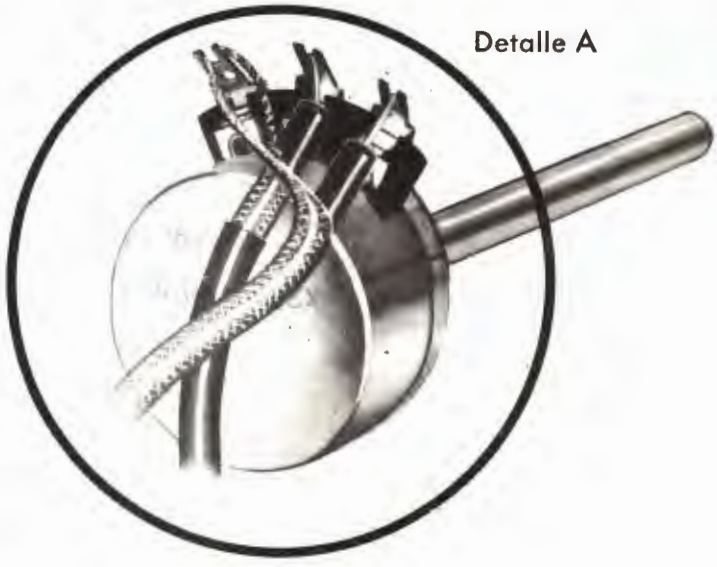




Estos son los dos cables blindados que debe preparar: uno de 13 cm con el blindaje separado en sus dos extremos y otro de 8 cm con un solo extremo separado del blindaje.

Ahora, pues, siguiendo las instrucciones que acabamos de dar, proceda a efectuar las conexiones que indicamos en la figura inmediata. Vea cómo uno de los cables blindados se ha protegido con macarrón plástico para evitar posibles contactos con elementos conductores.





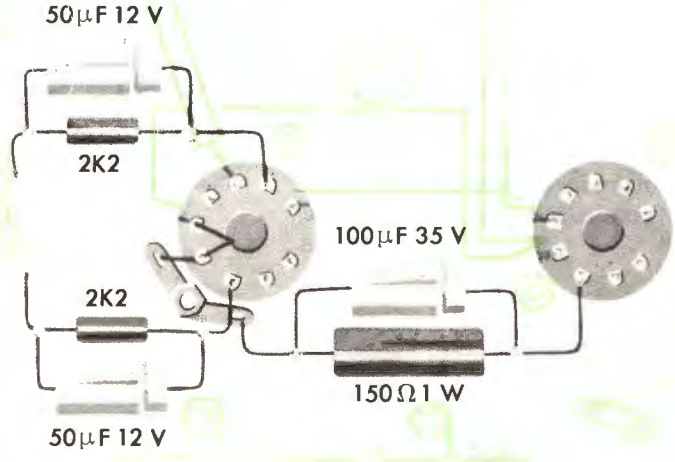
Éstas son las conexiones a masa que debemos efectuar. Por la novedad que representa, preste atención a las conexiones con cable blindado. Para evitar errores, ofrecemos un detalle de la zona A, que quizás es la más crítica. La longitud de los cables blindados es de 13 y 8 cm aproximadamente.

Montaje de un amplificador de B.F.

(Segunda parte)

CUARTA OPERACION. Grupo de polarización

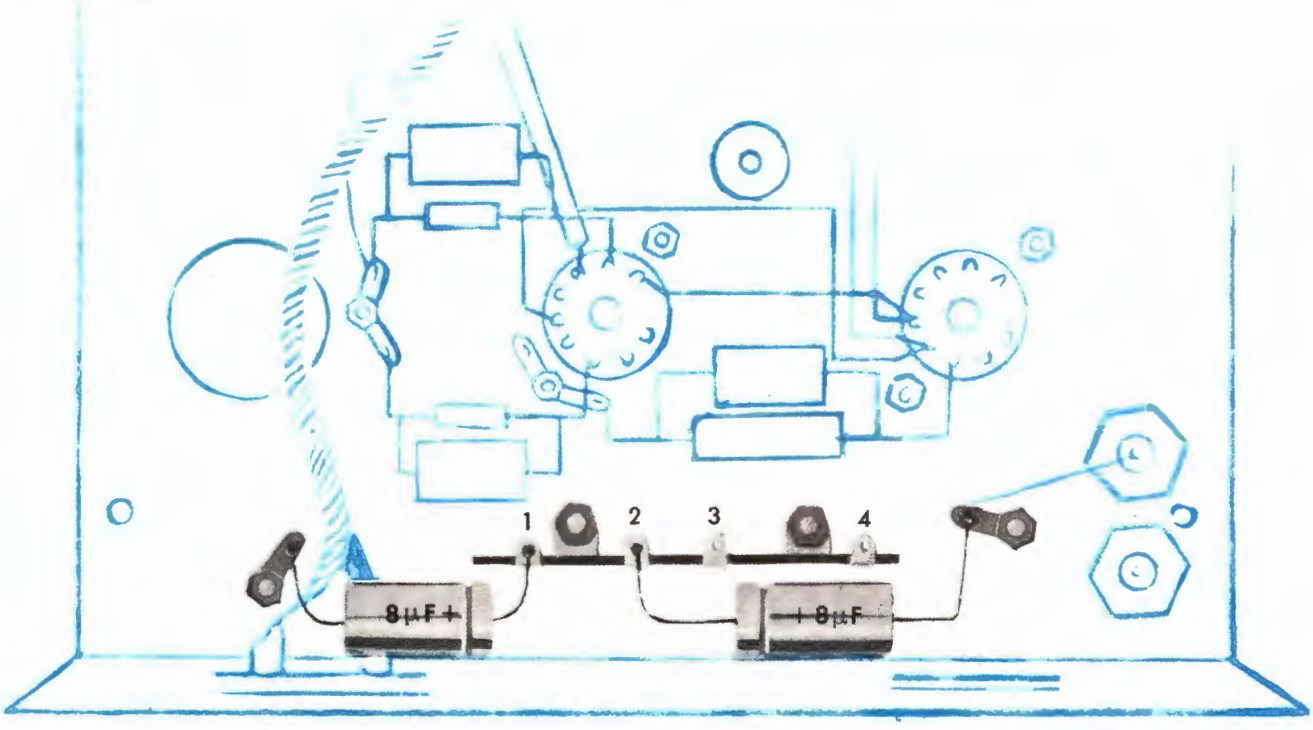
Con el conexionado de los grupos de polarización, damos principio a esta segunda parte de montaje de nuestro amplificador de B.F. Nuestros conocimientos sobre los fenómenos de la amplificación han aumentado y podemos dar fin al alambrado.



El alambrado de los grupos de polarización no ofrece ninguna dificultad. Procure no confundir las patillas de los zócalos; es seguro que no van a surgir problemas. Tenga en cuenta que el terminal negativo del condensador electrolítico que corresponde a la envoltura de aluminio, es el que se conecta al chasis.

QUINTA OPERACION. Condensadores de filtro

Son los dos condensadores electrolíticos de 8 μF 350 V conectados a la regleta por su borne + y a masa por su borne —. Para evitar confusiones, vamos a numerar los terminales de la regleta. Numerando de izquierda a derecha, los dos condensadores de filtro quedan montados como demuestra el gráfico inmediato; es decir, unidos a los terminales 1 y 2 de la regleta.



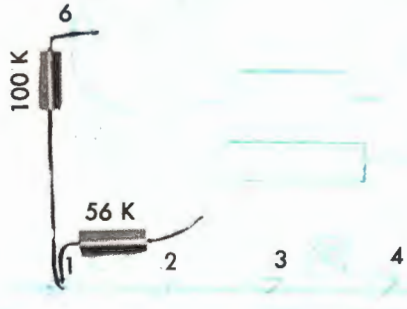
Los bornes positivos de los condensadores de filtro deben soldarse a los terminales 1 y 2, respectivamente, de la regleta. Los bornes negativos se fijan a la toma de masa más próxima.

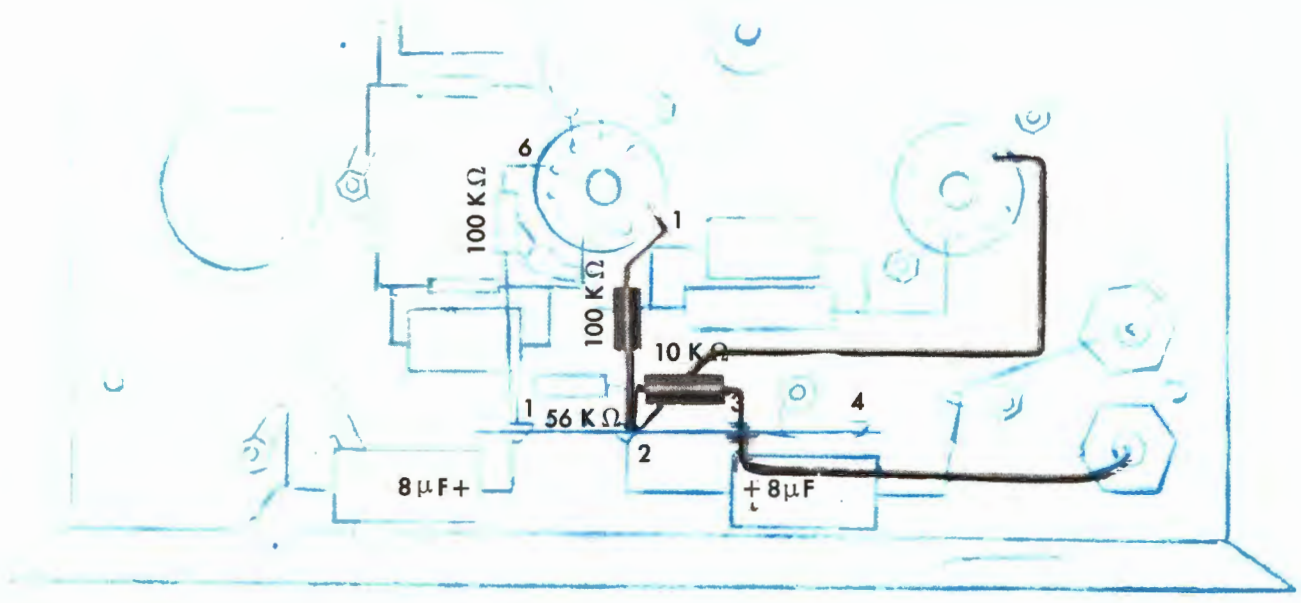
SEXTA OPERACION. Conexiones a la regleta

Con la denominación «conexiones a la regleta» nos referimos al alambrado de los componentes que, aparte los dos condensadores de filtro que acabamos de situar, se relacionan directamente con los terminales de la regleta.

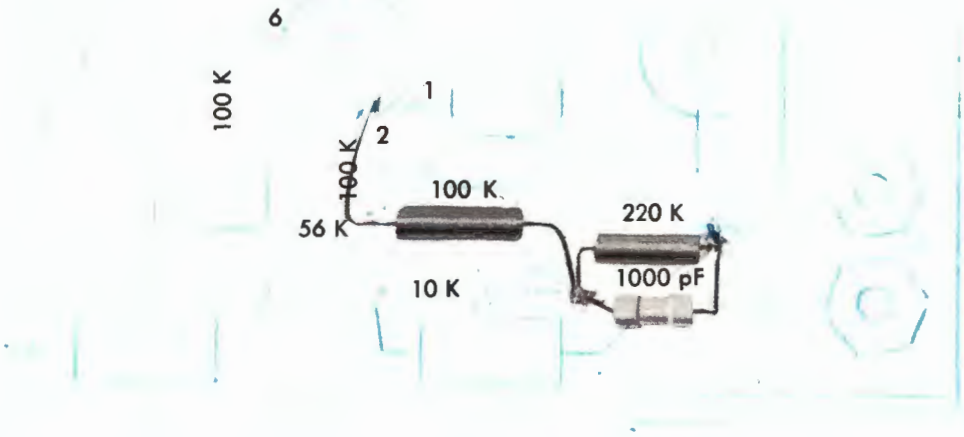
Véalo en las figuras inmediatas.

Además del borne + del condensador de filtro, deben soldarse al terminal 1 de la regleta una resistencia de 100 KΩ y otra de 56 KΩ. El otro terminal de la resistencia de 100 KΩ debe soldarse a la patilla 6 del zócalo.



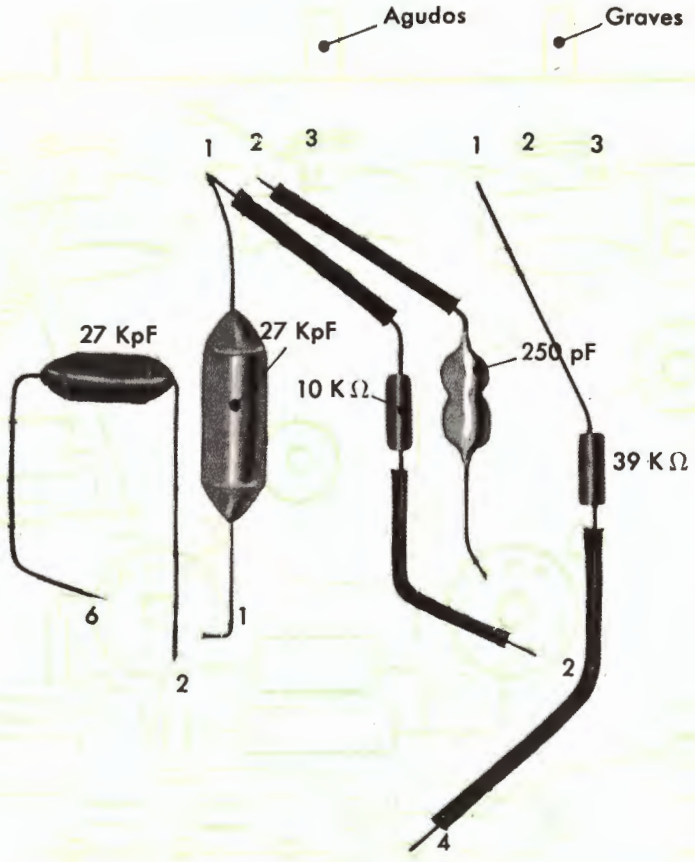


Al terminal 2 deben soldarse: el borne de la resistencia de 56 KΩ que hemos fijado al terminal 1 por su otro extremo. Un cabo de una resistencia de 100 KΩ y otro de una resistencia de 10 KΩ. La de 100 KΩ debe conectarse, por su otro extremo, a la patilla 1 del zócalo de la ECC82. Desde el terminal 2 a la patilla 9 del zócalo de la EL84, situaremos un hilo de conexión cubierto de plástico azul. Al terminal 3 irán soldados el otro extremo de la resistencia de 10 KΩ y un cabo de hilo azul, cuyo otro extremo se fijará a la hembrilla positiva de A.T.



Situando una resistencia de 100 KΩ entre la patilla 2 del zócalo de la ECC82 y el terminal 4 de la regleta, y un grupo RC, de 220 KΩ y 1000 pF respectivamente, entre dicho terminal y masa, habremos completado la sexta operación del montaje.

SEPTIMA OPERACION Conexiones a los potenciómetros

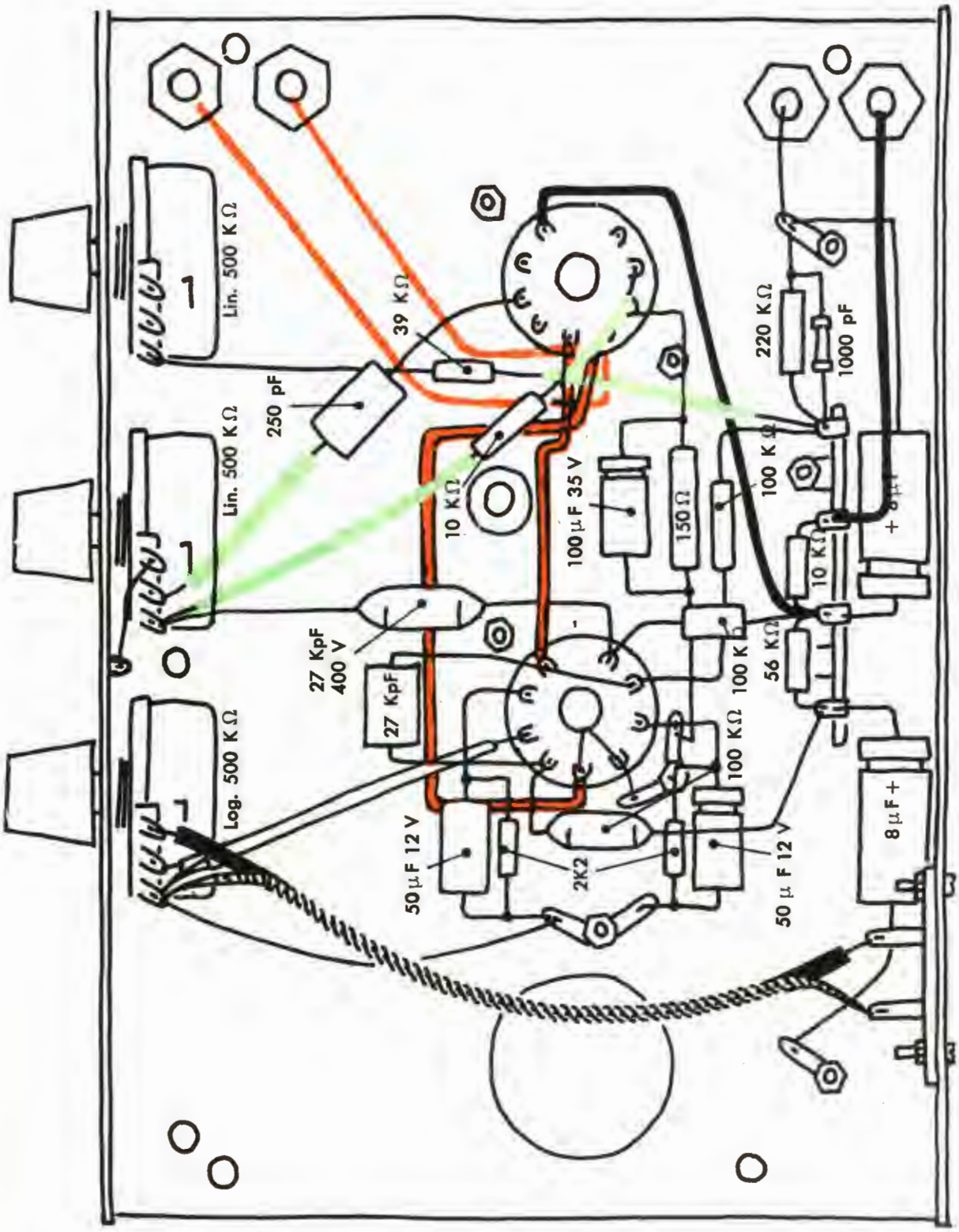


Desde el terminal 1 del potenciómetro de agudos saldrán los bornes de una resistencia de 10 KΩ y de un condensador de 27 KpF 400 V. El otro extremo de la resistencia debe soldarse a la patilla 2 del zócalo de la EL84. El extremo libre del condensador, a la patilla 1 de la ECC82. Entre el terminal 2 del mismo potenciómetro y la patilla 7 de la EL84 situaremos un condensador de mica de 250 pF. En los terminales 1 del potenciómetro de graves y el terminal 4 de la regleta deben soldarse los bornes de una resistencia de 39 KΩ. Es muy conveniente que estas conexiones se protejan con macarrón de plástico, según lo que se indica en el gráfico que comentamos. Para terminar con la colocación de condensadores, soldaremos uno de 27 KpF, en las patillas 2 y 6 de la ECC82. Para poder conectar las resistencias de 10 KΩ, 39 KΩ y los condensadores de 250 pF será preciso de ordinario que prolongue uno de sus terminales soldándole un trozo de hilo de conexión.

OCTAVA OPERACION. Conexionado del altavoz

La última operación consistirá, efectivamente, en colocar el altavoz efectuandó las oportunas conexiones. Pero consideramos prudente que dé un repaso a lo que lleva alambrado. Véalo:

Una vez repasada la parte del montaje representada en el gráfico anterior, proceda a la fijación y alambrado de las conexiones del altavoz. De su fijación al chasis hemos hablado en lecciones an-

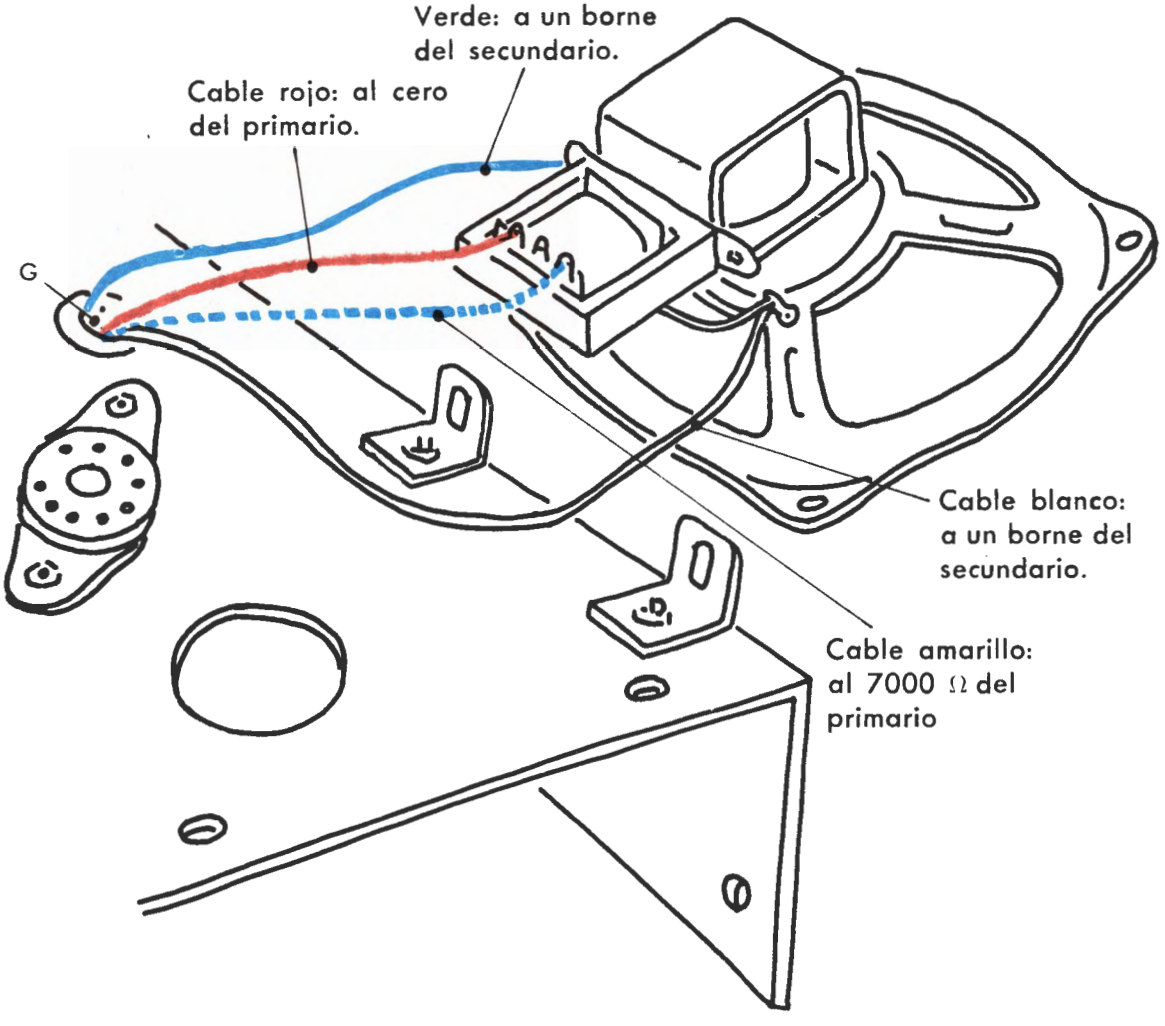


teriores, por lo que no hay necesidad de repetirse en este sentido.

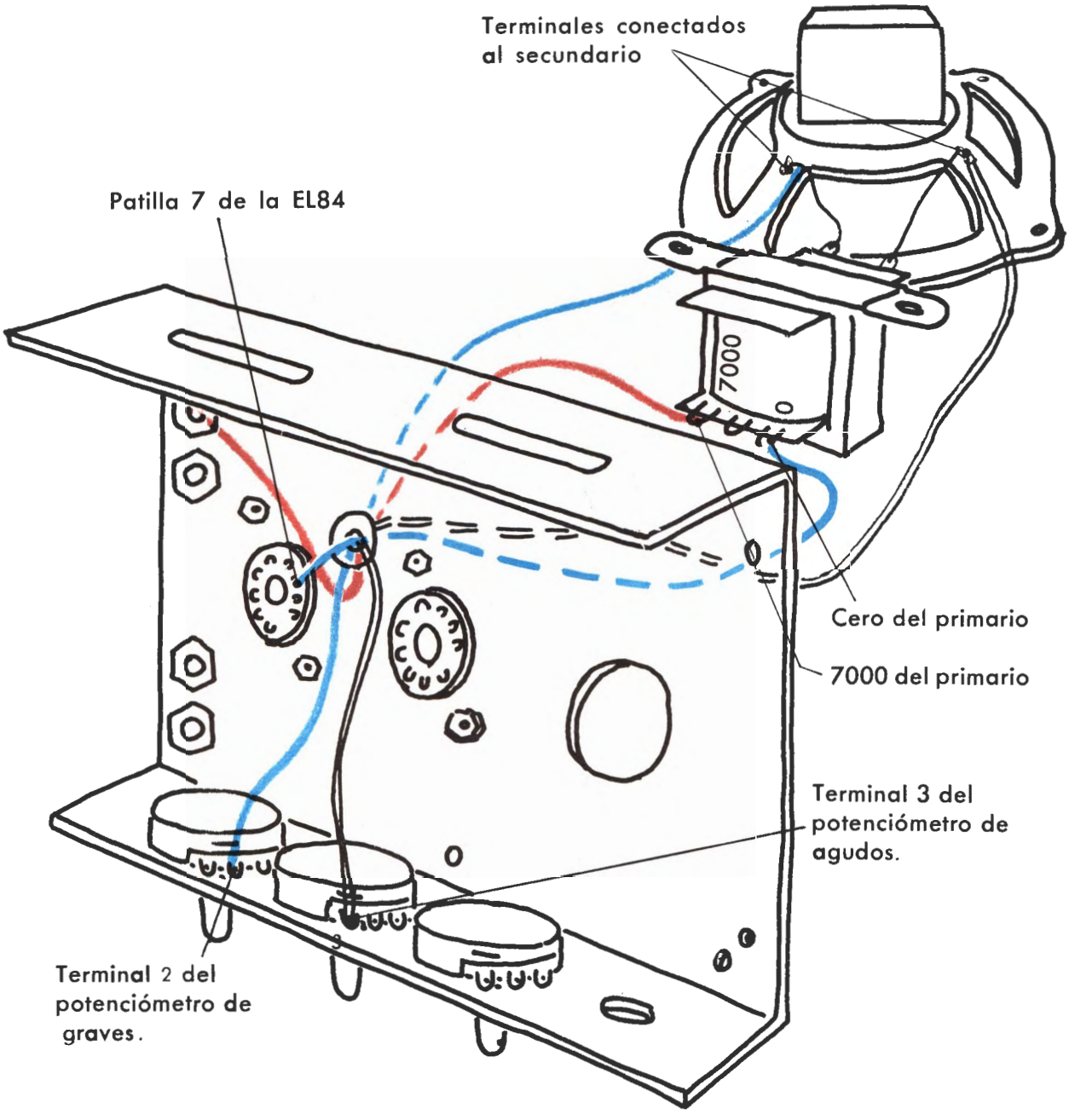
La única complicación inherente al conexionado del altavoz está en la posibilidad de confundir los cuatro hilos de conexión que para ello se requieren. Esta dificultad desaparece empleando un cable múltiple formado por cuatro hilos de cuatro colores.

Un cable de cuatro colores nos permite identificar cualquier hilo, sin posibilidad de error.

PROCEDAMOS AL CONEXIONADO DEL ALTAVOZ



El cable de cuatro colores que se hará pasar a través de la goma de protección G deberá conectarse al altavoz, según lo que aquí se indica.



Representación de las conexiones del altavoz sin tener en cuenta la posición real de los elementos. En este gráfico sólo pretendemos dar una explicación visual de los puntos extremos de cada conexión.

ADVERTENCIA

Se comprende que los colores del cable múltiple que usamos para el conexionado del altavoz pueden ser cualesquiera. Lo único que tiene importancia es que los extremos de cada hilo estén situados en el punto conveniente. El color sólo sirve para identificar la procedencia del hilo.

Para mayor claridad añadimos una representación esquemática de estas conexiones.

Vea, finalmente, el aspecto externo del amplificador de B.F., una vez incorporada la fuente de alimentación.

PUESTA EN MARCHA

Una vez acoplada la fuente de alimentación, llega el momento solemne de poner en marcha el amplificador y, naturalmente, de comprobar si funciona como es debido.

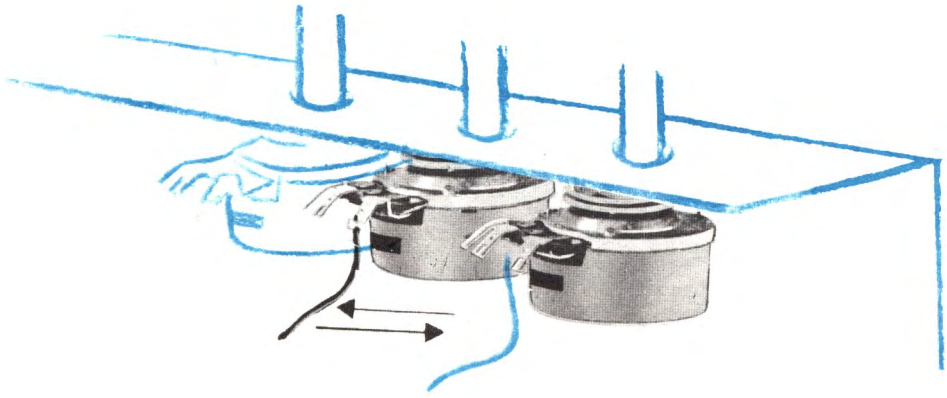
Conecte la fuente de alimentación a la red y, antes de abrir el interruptor, gire hacia la izquierda, hasta llegar al tope, el potenciómetro de graves. Ahora sí; abra el interruptor. Pueden suceder dos cosas: que se encienda el aparato produciendo un zumbido sordo, o que lance un berrido en-

Una vez enchufada la fuente a la red, gire el potenciómetro de graves hacia la izquierda: alcance el tope. Abra el interruptor.

sordecedor. Supongamos lo primero; es que todo está en orden.

Puede suceder lo segundo; que el altavoz produzca un aullido tremendo. En este caso es que hay reacción. Desenchufe y proceda a efectuar un pequeño cambio.

Consiste, simplemente, en invertir las conexiones del secundario del transformador de salida. Lo

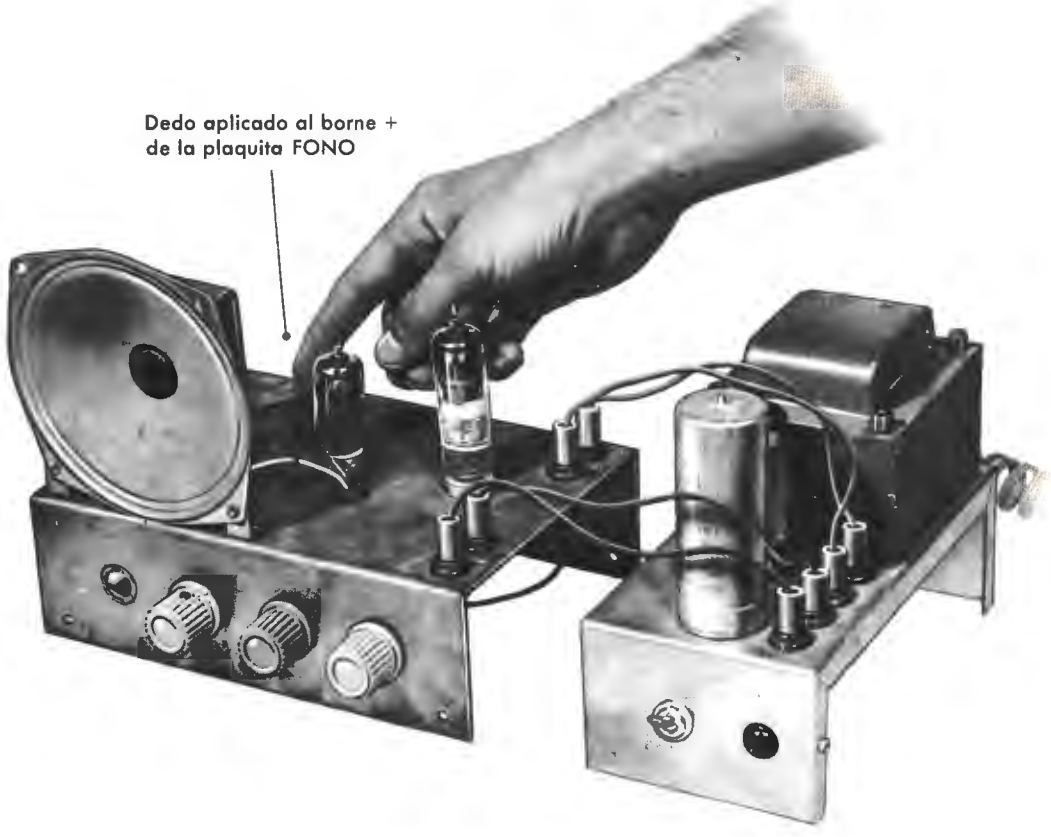


Si el aparato reacciona al dar corriente, deberán invertirse las conexiones del secundario del transformador de salida.

más práctico, para no tener necesidad de tocar el altavoz, es hacer el cambio en los potenciómetros de agudos y graves.

Una vez eliminada la reacción del aparato, ponga a tope (hacia la izquierda) el potenciómetro de agudos.

Entonces, con el aparato en marcha, aplique un dedo al borne positivo (el que *no* va a masa) de la plaquita fono. En estas circunstancias, el altavoz debe zumbar con mayor o menor potencia, según se accione el potenciómetro de volumen.



Accionando el potenciómetro de volumen, aumentará o disminuirá el zumbido del altavoz.

LA PRUEBA DEFINITIVA

Usted ha realizado la prueba anterior y ha comprobado, con la natural satisfacción, que su amplificador funciona. Pero usted no tiene bastante con oir un zumbido; quiere algo más: amplificar palabras o música, que es lo bueno.

Existen formas muy diversas de alimentar el amplificador; es decir, de inyectarle señales. Todo depende de los elementos de que se disponga.

A título de ejemplo proponemos tres maneras distintas de comprobar la eficacia de este montaje.

Primero: con un micrófono

Segundo. con un pick-up.

Tercero: con el receptor de diodo de cristal estudiado en la lección 6.

Creemos que por lo menos una de estas tres posibilidades está al alcance de su mano.

Incluso puede realizar la prueba del micrófono si se construye el que se describe en la quinta lección de este Tratado, o bien utilizando a modo de rudimentario micrófono el auricular que debe obrar en su poder.

¿Dispone de un tocadiscos...?

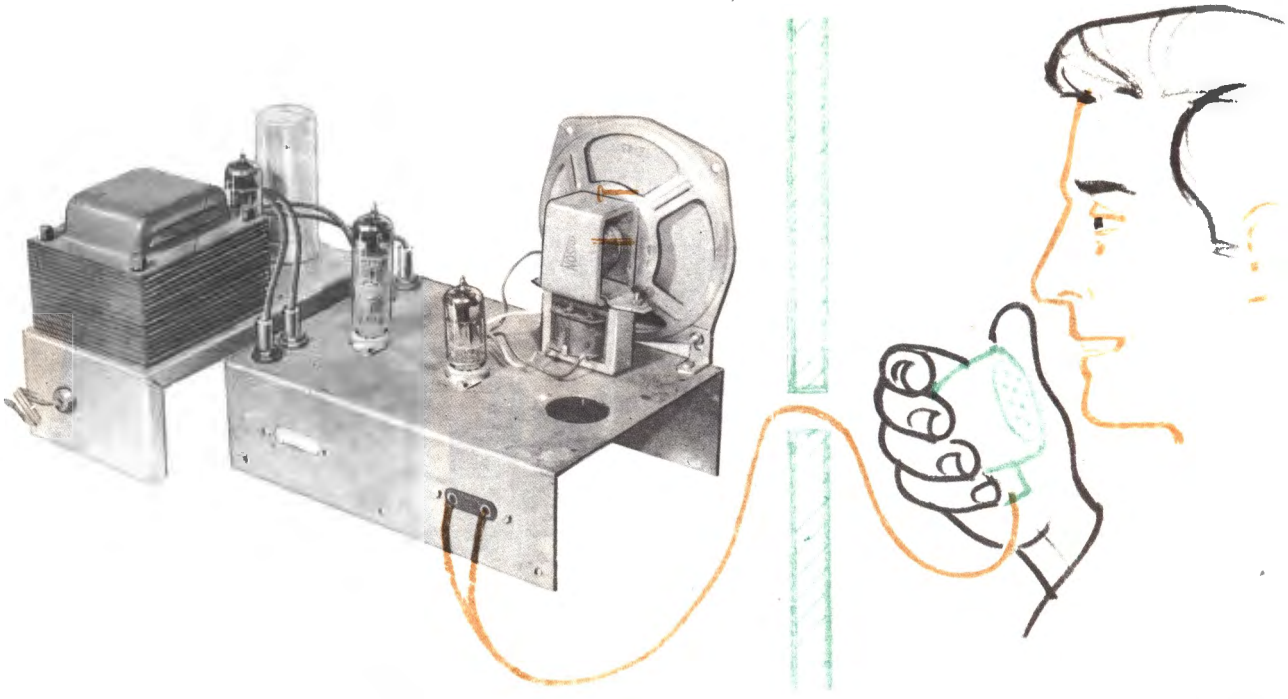
Es posible que así sea, en cuyo caso puede escuchar sus discos preferidos por medio de este amplificador salido de sus manos.

Pero quizás sea lo más espectacular comprobar la eficacia del amplificador acoplándole el receptor con diodo de cristal. Las señales de radio recibidas y detectadas serán amplificadas por nuestro amplificador de B.F.

Esto no quiere decir que podamos escuchar más emisoras que las que logramos sintonizar con el receptor. Significa, simplemente, que podremos escuchar las emisiones a través del altavoz.

LAS TRES PRUEBAS

1.ª Con micrófono o, en su defecto, utilizando como tal un auricular.

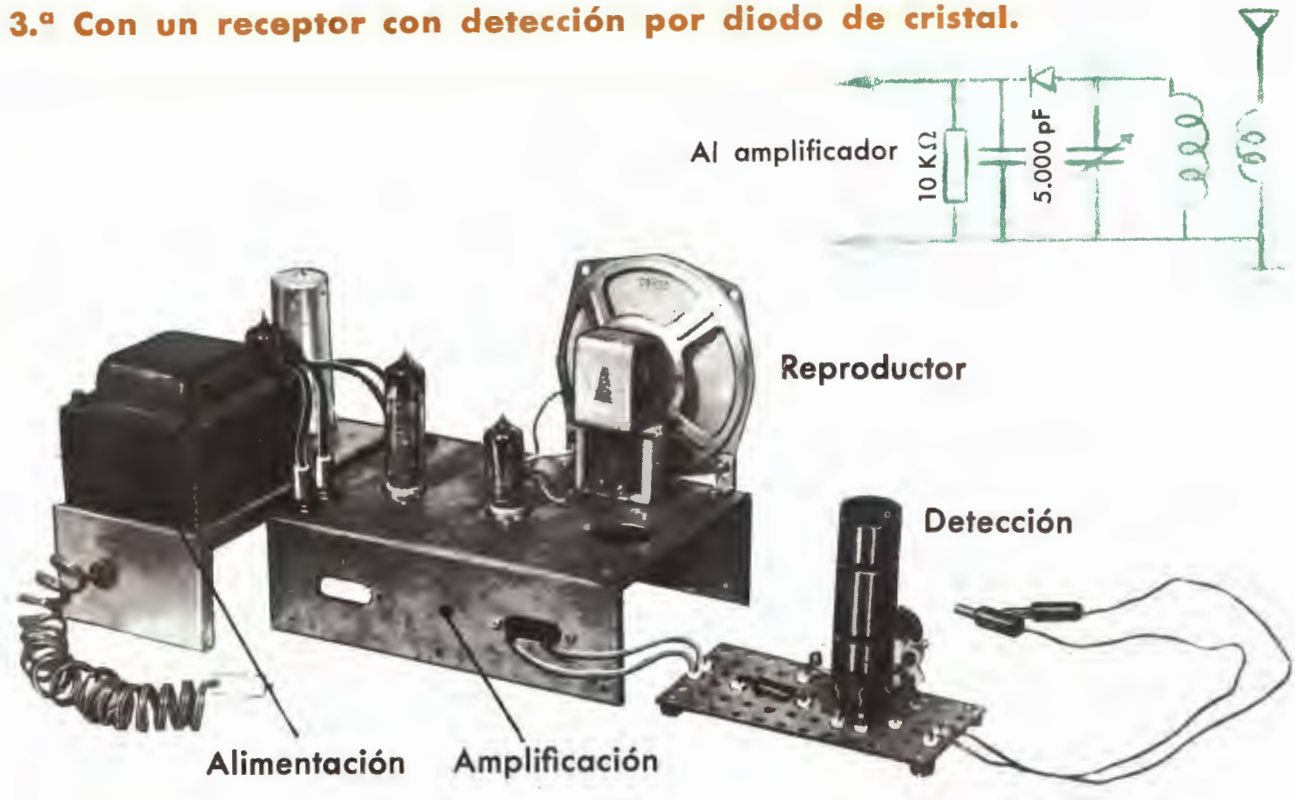


Conecte el micrófono o auricular a la placa fono, pero a través de una conexión lo bastante larga como para permitir que la persona que hable frente a él quede separada de quien esté a la escucha por una distancia que evite oir directamente al improvisado locutor. Una puerta entre ambas proporciona un mayor aislamiento acústico, y con él una mayor facilidad en la apreciación del rendimiento del amplificador.

2.ª Con un plato tocadiscos.

Si dispone de un plato tocadiscos, conecte la salida del pick-up a la plaquita fono. Tendrá un conjunto reproductor de buena calidad.

3.ª Con un receptor con detección por diodo de cristal.



Este dispositivo representa un receptor de radio cuya etapa detectora está formada por un clásico "galena".

lección práctica 23

Montaje comercial del amplificador de tres etapas estudiado en la lección anterior

UNAS PALABRAS DE INTRODUCCION

En la lección pasada estudiamos, primero en teoría y luego en su versión práctica, el funcionamiento de un circuito amplificador de tres etapas: dos etapas preamplificadoras cubiertas por los dos triodos de la ECC82 y una etapa de salida (amplificadora de potencia) cubierta por la EL84.

Pues bien; resulta que este circuito a que nos referimos no sólo tiene interés teórico, sino que, además, ofrece el gran interés de tratarse de un circuito muy divulgado comercialmente, sobre todo en la modalidad de grupo amplificador autónomo.

¿Vale la pena decir algo sobre la utilidad de estos grupos amplificadores? Se han divulgado tanto que nos parece innecesario. Todas las instalaciones megafónicas requieren un amplificador, y son muchas las instalaciones de tocadiscos cuyo amplificador es un grupo autónomo. Los aficionados a la música saben muy bien que la calidad de la reproducción puede ser mucho mejor si se emplea un amplificador independiente que cuando se adopta la solución de una maleta tocadiscos. Las razones son obvias: los altavoces pueden ubicarse en un mueble (baffle) en unas condiciones óptimas que es prácticamente imposible conseguir en el espacio que deja una maleta tocadiscos. Por otra parte, la caja del amplificador — también por razones de espacio, añadiendo la razón del peso — permite adoptar un transformador de salida especialmente fabricado para Hi-Fi (alta fidelidad), cosa que no podremos conseguir en una maleta tocadiscos a menos que se proyecte de modo que sea muy voluminosa, con lo cual perdería las ventajas de orden práctico (ser cómodamente portátil) que la han popularizado.

Acabemos: lo que pretende este capítulo es hacerle ver que usted ha alcanzado una preparación que le permite actuar a nivel profesional.

ALGUNOS INTERROGANTES

Imagine usted, amigo lector, que debe construir, para un amigo o cliente, un amplificador de B.F. apropiado para una instalación tocadiscos de categoría media.

Usted, con muy buen tino, le recomienda un amplificador Hi-Fi con tres controles (volumen, graves y agudos), que es lo normal. De la reproducción estereofónica ya nos ocuparemos cuando tratemos con detalle de la alta fidelidad.

La potencia de salida será de 6 W, más que suficiente para los fines que se pretenden.

El primer problema está en saber dónde vamos a montar el circuito. El problema, en realidad, no existe, ya que podemos encontrar en el mercado cajas para amplificadores de tipo comercial con su correspondiente chasis. Se trata, tan sólo, de ver qué caja, de entre las muchas que seguramente van a enseñarnos, se ajusta con más exactitud a nuestras necesidades de orden técnico y económico.

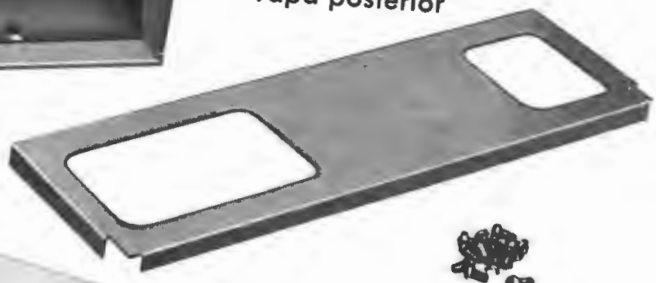
Para nuestro amplificador requeriremos un chasis que lleve, como mínimo, tres taladros para zócalos Noval; otro para el transformador de alimentación y otro más para el transformador de salida, que para asegurar la calidad de reproducción deseada deberá ser un transformador de alta fidelidad.

Lo usual es que el mismo comercio donde nos proporcionen la caja y el chasis puedan vendernos dos transformadores que ajusten perfectamente a los taladros. Tenga en cuenta que el fabricante del chasis habrá pensado, al proyectarlo, en unos componentes determinados.

Nosotros, que en este momento ocupamos simbólicamente su lugar, nos hemos decidido por el modelo que le mostramos en fotografías.

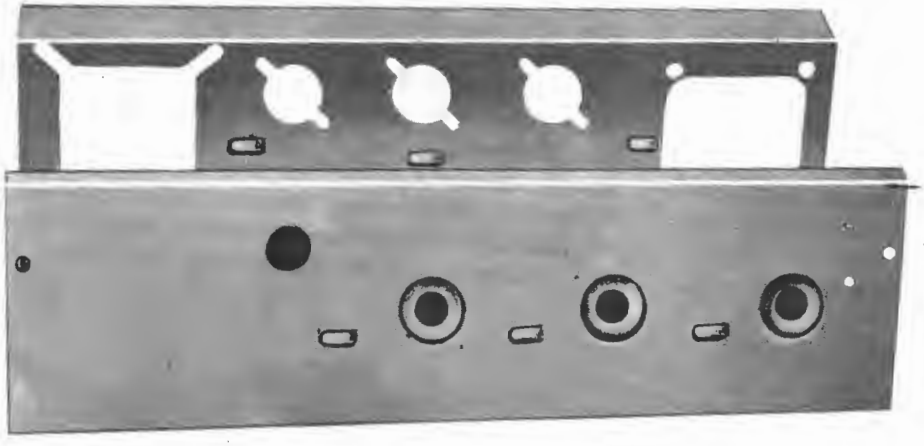
LA CAJA

Tapa posterior

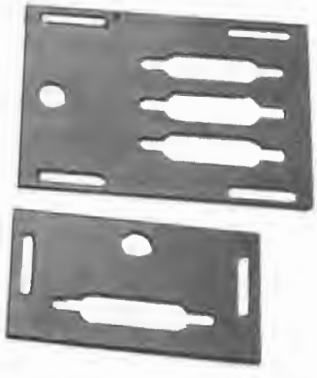


Carátula

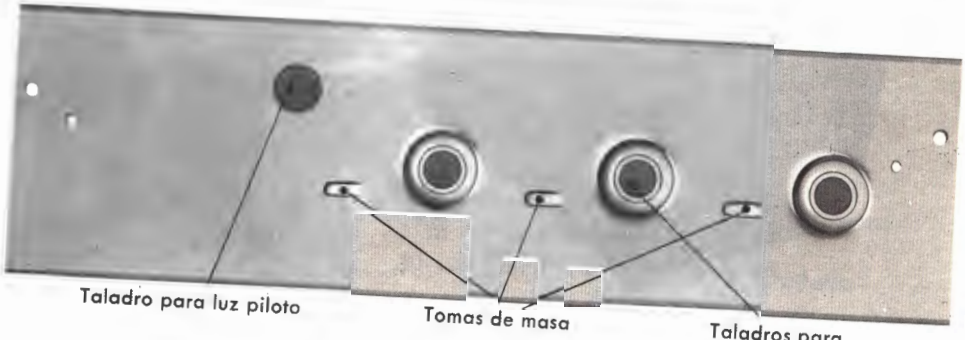
EL CHASIS



Planchas para tomas



VISTA POSTERIOR DEL CHASIS

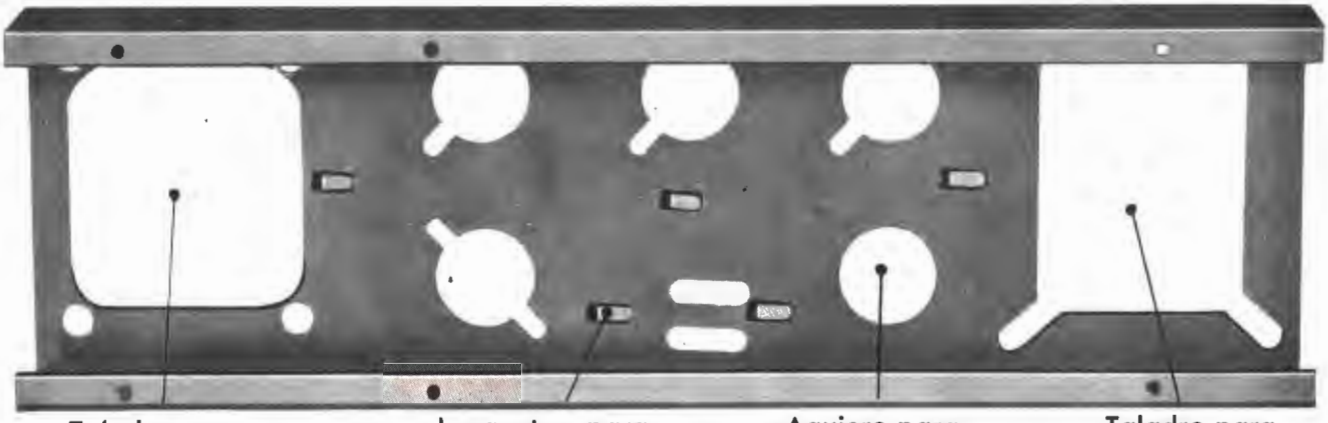


Taladro para luz piloto

Tomas de masa

Taladros para potenciómetros

VISTA POSTERIOR DEL PANEL ANTERIOR



Taladro para transformador de salida

Lenguetas para soldadura a masa

Agujero para el condensador de filtro

Taladro para transformador de alimentación

De cuantos nos han ofrecido en el comercio, éste es el chasis más apropiado a nuestros propósitos. Lleva cuatro taladros para portalámparas, pero no tiene ninguna importancia que nos sobre uno. Incluso podrá resultar una ventaja como agujero de paso de ciertos hilos.

LOS TRANSFORMADORES

Pedimos ahora los dos transformadores; el de alimentación y el de salida.

El TRANSFORMADOR DE ALIMENTACIÓN que adquirimos es un modelo comercial, con entradas para 125 y 220 V y salidas de 6'3 V para baja tensión (filamentos) y de 270 V, con toma media, para la alta tensión; es decir, 270 + 270 V.

Observará que este transformador lleva otra salida de baja tensión de 3'15 + 3'15 V.

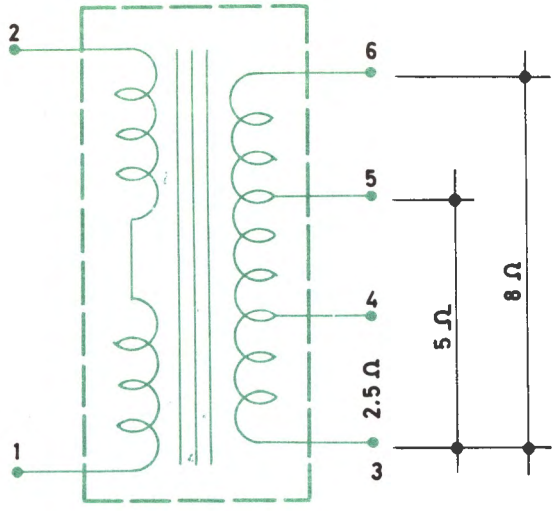
Antes de hablar del TRANSFORMADOR DE SALIDA deseamos poner en claro que, en este capítulo, trabajamos con material de mercado; y que, como es natural, responde a modelo y características propios de una marca. Es un ejemplo de montaje profesional, de adaptación de un esquema a las exigencias de un chasis comercial, que también podría ser otro, en cuyo caso es posible que resultase más ventajoso trabajar con componentes de otros modelos y marcas.

El transformador de salida está calculado como transformador de alta fidelidad. Sus características se especifican en el folleto que edita el mismo fabricante, según el cual este modelo es especialmente indicado para obtener una notable alta calidad con un amplificador de una sola válvula de potencia. Luego, se ajusta a nuestro caso.

Transformador de alimentación

Transformador de salida

El esquema del transformador de salida, que también se incluye en el folleto del fabricante, nos indica las impedancias del secundario; y la lista de características, la del primario. Vamos a resumirlo todo en el gráfico que puede ver inmediatamente.



CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR DE SALIDA

Dimensiones	60x68x90 mm.
Impedancia del primario . .	5.000 ohmios
Impedancia del secundario .	2'5, 5 y 8 ohmios

LISTA DE MATERIALES

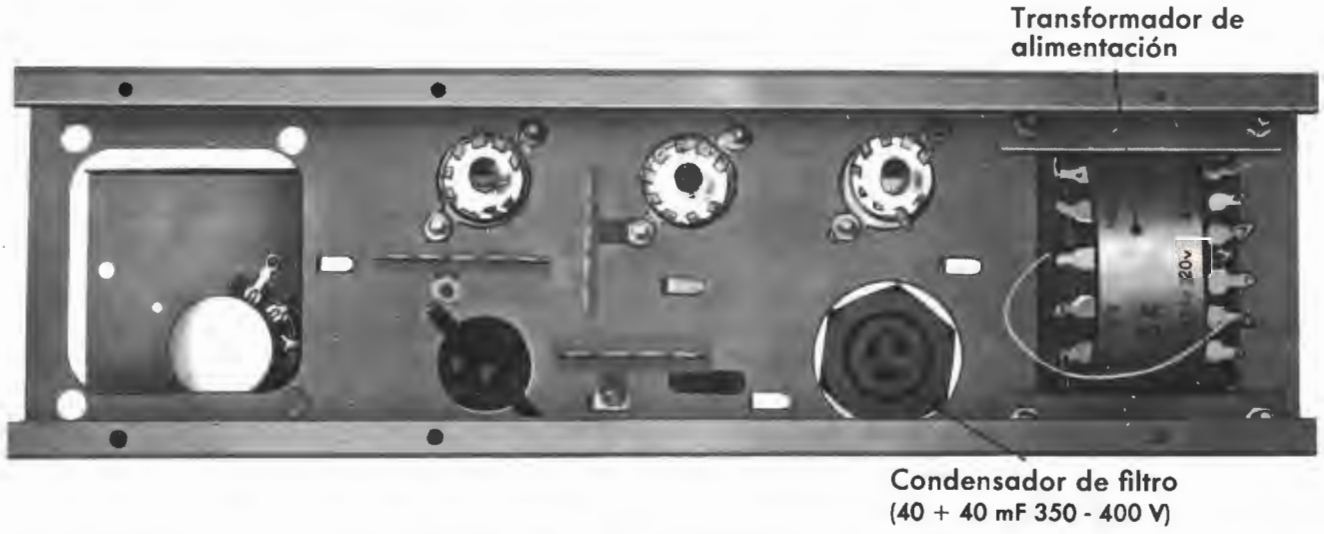
Además de los dos transformadores, el montaje del amplificador que nos proponemos realizar requiere todo el material que usted ya conoce, por ser el mismo que interviene en el montaje de estudio descrito en la lección anterior. De todas formas, será útil preparar una lista completa, puesto que eso es lo que hará antes de dirigirse a su proveedor: saber exactamente lo que debe comprar.

1 potenciómetro lineal 500 KΩ c/i.
1 potenciómetro lineal 500 KΩ s/i.
1 potenciómetro logarítmico 1'3 MΩ toma media s/i.
1 condensador electrolítico 2 × 40 mF, 350 V.
2 condensadores electrolíticos 8 mF, 350 V.
2 condensadores electrolíticos 50 mF, 12 V.
1 condensador electrolítico 100 mF, 35 V.
2 condensadores poliester 27 KpF 400 V.
1 condensador mica 220 pF.
1 condensador poliester 5 KpF 125 V.
1 condensador cerámico 47 pF.
1 condensador cerámico 1 KpF.
1 resistencia carbón 1 KΩ 2 W.
1 resistencia carbón 220 KΩ 1/2 W.
4 resistencias carbón 100 KΩ 1/2 W.
1 resistencia carbón 150 Ω 1 W.
2 resistencias carbón 10 KΩ 1/2 W.
2 resistencias carbón 2K2 Ω 1/2 W.
1 transformador Pr 125/220 V, secundarios 270 + 270 V y 6'3 V, toma media.
1 transformador salida.
1 caja y chasis.
3 zócalos Noval.
1 portapilotos con regleta.
1 lámpara piloto 6'3 V 0'1 A.
1 ojo de buey 5 mm con clip.
1 regleta de 3 terminales y 1 a masa.
2 regletas de 4 terminales y 1 a masa.
4 placas A-T.
3 botones de mando.
1 jack (macho y hembra).
1 m hilo rojo de conexión de 0'5 mm.
1 m hilo verde de conexión de 0'5 mm.
1 m cable blindado delgado.
20 cm macarrón para cable blindado

EL MONTAJE

Puesto que se trata de un esquema que usted ya conoce y de un montaje que en plan de estudio precede a la solución profesional que ahora exponemos, creemos sinceramente que no es necesario un detalle total de cada uno de los pasos a seguir. Nos limitaremos a dar una visión clara, por medio de representaciones gráficas de la situación de los componentes en el conjunto.

COLOCACION DE ELEMENTOS DE FIJACION MECANICA



Fotografía de la parte posterior del chasis que indica la situación de los componentes de fijación mecánica. Observe que el transformador de salida no se ha colocado. Cuestiones de orden práctico así lo aconsejan.

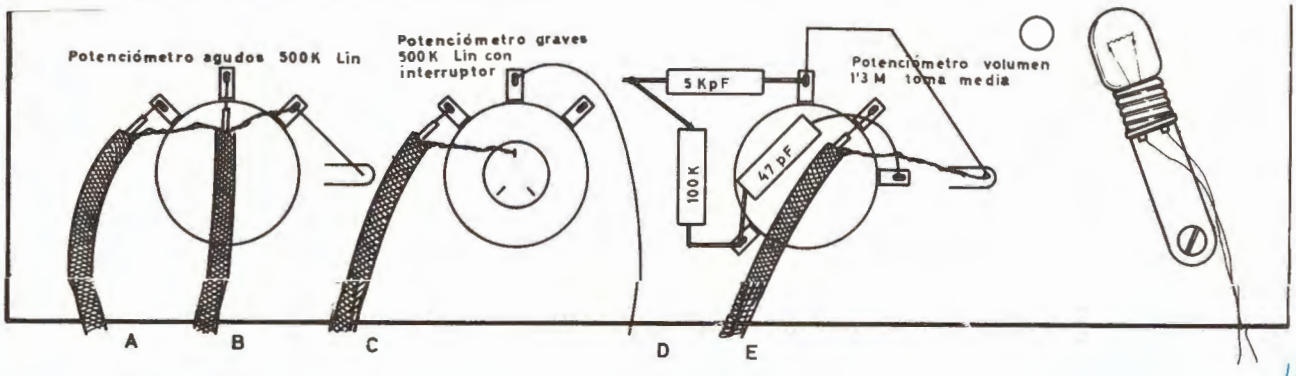
En esta fotografía puede verse, por la cara posterior del panel anterior del chasis, la colocación de los tres potenciómetros.

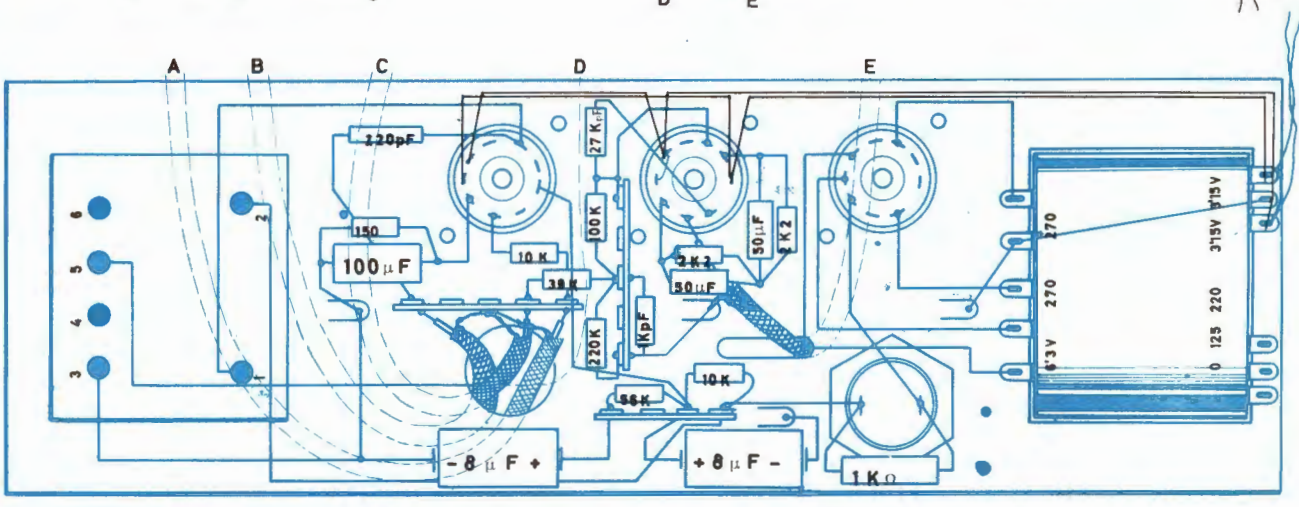
Se trata ahora de disponer el mismo circuito que hemos estudiado dándole la distribución que exige nuestro chasis comercial.

Y puesto que se trata de un circuito conocido, creemos que no va a ser necesario que detallemos el montaje con la minuciosidad que es característica en nuestros capítulos de PRÁCTICAS. Nos limitaremos a proporcionar el esquema práctico del montaje y a hacer hincapié en aquellas cuestiones que ofrecen un carácter particular derivado de las exigencias profesionales a que nos hemos sometido.

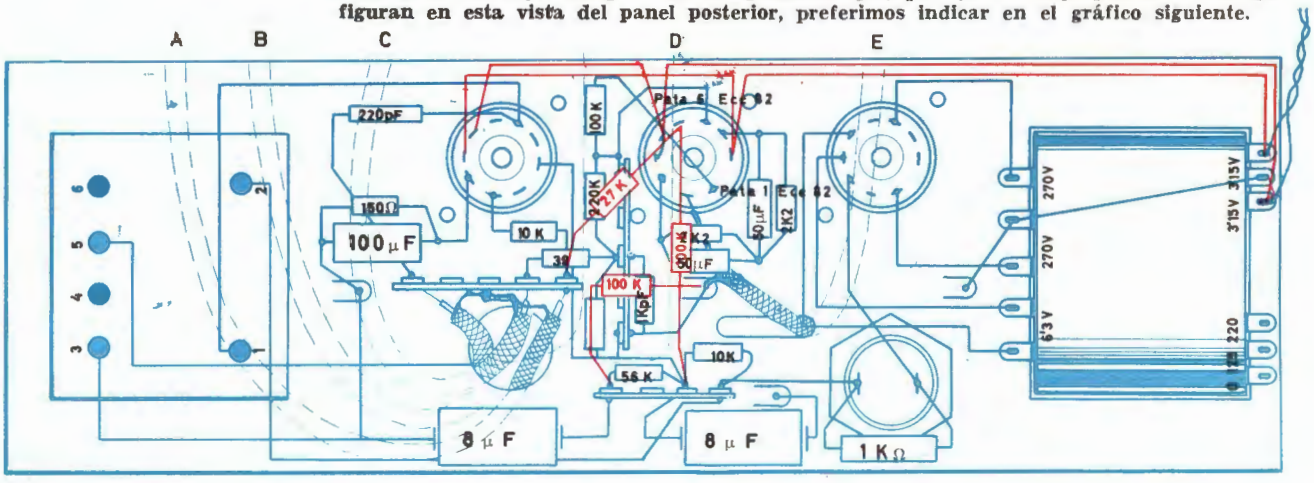
ESQUEMA DE MONTAJE

Dada la forma especial del chasis, desplazamos el esquema en dos paneles superpuestos, considerando que entre ambos media la distancia que en realidad los separan.





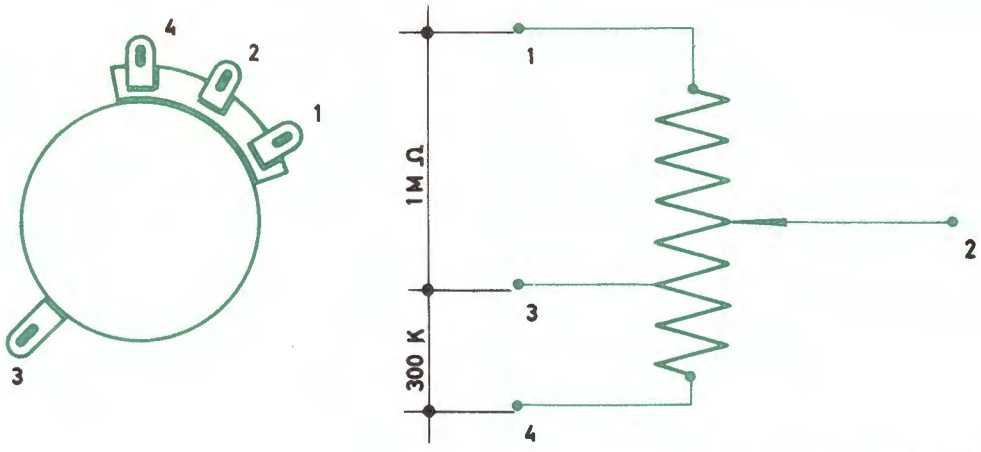
Este es el montaje, excepto tres componentes que, por quedar superpuestos a los que figuran en esta vista del panel posterior, preferimos indicar en el gráfico siguiente.



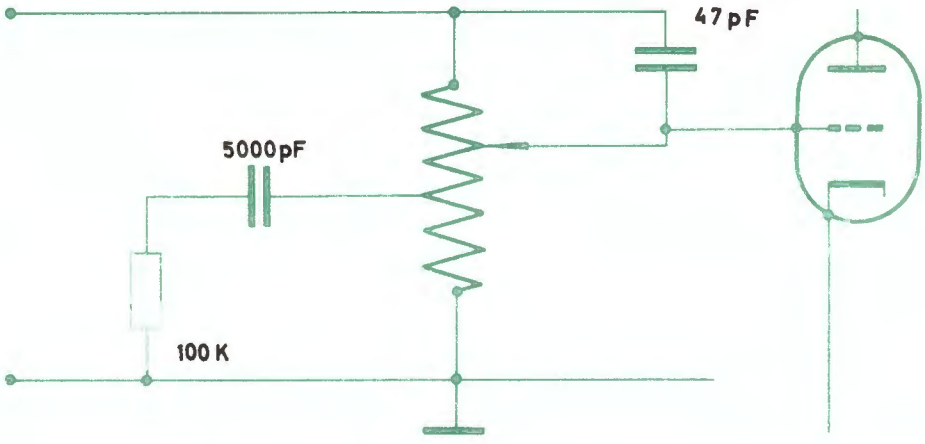
Estos son los tres componentes a que nos hemos referido. Lógicamente serán los últimos que soldará.

EL POTENCIOMETRO DE VOLUMEN

En este montaje se han introducido, como únicas modificaciones, las que atañen al potenciómetro de volumen, y que sin duda le han llamado la atención. Para empezar, este potenciómetro es de 1'3 MΩ en vez de ser de 500 KΩ. Además, este potenciómetro está provisto de una toma fija a 300 KΩ, contando a partir del terminal que se conecta a masa.



Esquema del potenciómetro de volumen.



Entre esta toma media y la masa se conectan una resistencia de 100 KΩ y un condensador de 5000 pF unidos en serie. Entre el terminal 1 y el 2 (correspondientes al cursor) se conecta un condensador de 47 pF.

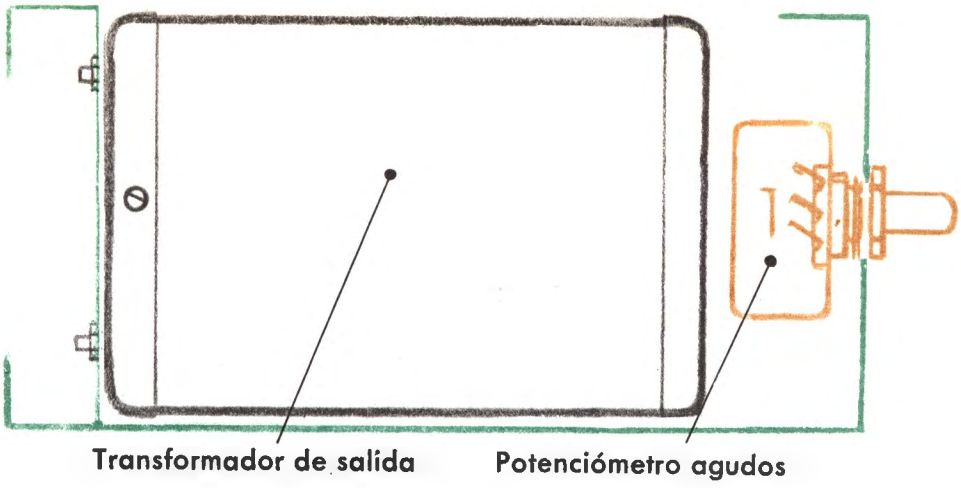
Este montaje tiene por finalidad modificar la curva de respuesta del amplificador cuando trabaja a bajo volumen, en el sentido de conseguir que presente más sensibilidad para las frecuencias más altas y más bajas que para las frecuencias medias.

La audición a bajo volumen resulta así mucho más agradable y brillante, porque se corrige el defecto que tiene el oído, cuando percibe sonidos de baja intensidad, de resultar menos sensible para los tonos graves y agudos que para las tonalidades medias.

ALGUNAS FOTOGRAFIAS Y DETALLES

Como final de este capítulo ofrecemos algunas fotografías aclaratorias que pueden contribuir poderosamente a eliminar posibles dudas.

Recordará que en la etapa de colocación de los elementos de fijación mecánica, dejamos de poner el transformador de salida, diciendo que motivos de índole práctica lo aconsejaban así. Pues bien: el motivo, como puede comprender, no es otro que la escasez de espacio entre dicho transformador y el potenciómetro de agudos. No hay otra solución que alambrar este potenciómetro antes de colocar el transformador de salida.



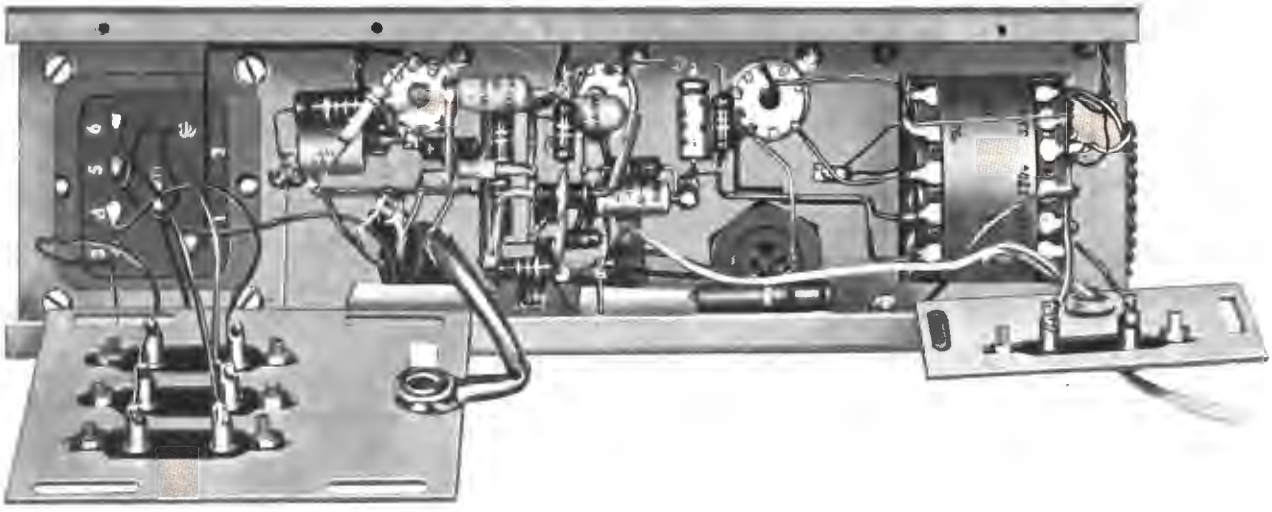
El reducido espacio entre el transformador de salida y el potenciómetro de agudos obliga a demorar la colocación del primero.

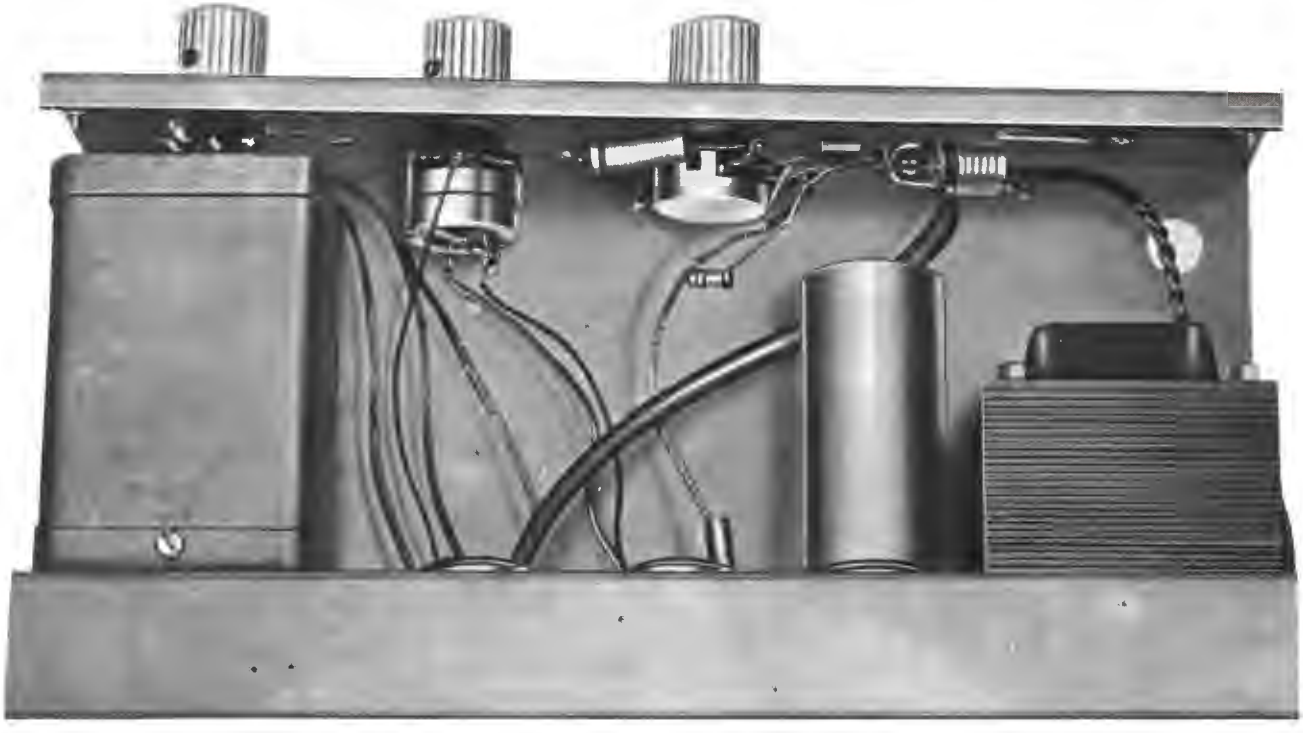
Para dar por alambrado este amplificador faltan las conexiones por las que uniremos el aparato a la red de alimentación, al elemento que proporcione la señal (micro o tocadiscos, fundamentalmente) y al altavoz o altavoces que reproduzcan el sonido.

El transformador de salida proporciona tres impedancias, gracias a lo cual nuestro amplificador podrá alimentar tres altavoces distintos, uno a uno o los tres a la vez. Una de las dos planchas auxiliares que acompañan al chasis está preparada para este menester. En ella pueden fijarse tres placas del tipo A-T o fono, en cada una de las cuales tendremos una impedancia de salida distinta. En esta misma placa se fijará la toma de señal procedente del tocadiscos o del micro.

Estas son las conexiones para obtener una fácil toma para los altavoces.

En este gráfico se supone que la tensión de la red es de 220 V.



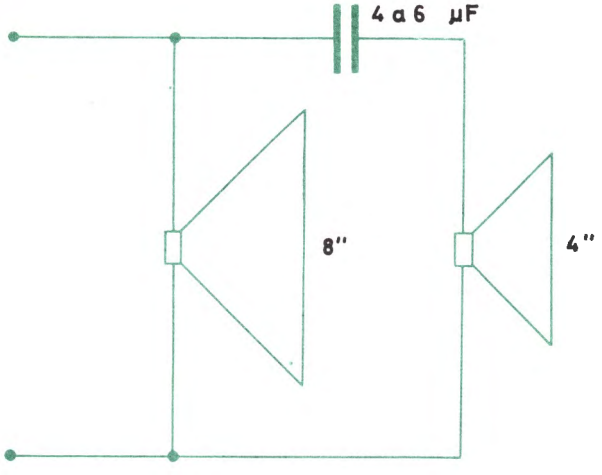


En estas fotografías puede apreciarse el montaje visto desde la cara posterior y desde arriba. Añadimos también unas fotografías donde puede apreciarse el aspecto de la caja una vez introducido en ella el montaje.

Vista posterior del chasis una vez se han acoplado las dos platinas con las correspondientes placas FONO o A.T.

Aspecto que ofrece el amplificador una vez introducido en la caja. Este es el resultado final de nuestro montaje.

Vea, por último, la instalación total del plato tocadiscos, el amplificador y el baffle con los altavoces. El baffle que reproducimos lleva incorporados un altavoz de cuatro pulgadas y otro de ocho, para agudos y graves respectivamente, conectados como indica nuestra última figura.



El condensador actúa en el sentido de dejar llegar al altavoz pequeño sólo las señales de frecuencia elevada (tonos agudos).

lección práctica 24

Montaje de una maleta tocadiscos de calidad media

LO QUE MOTIVA ESTE CAPITULO

Usted, que ha estudiado con loable entusiasmo las lecciones que nos preceden, está capacitado para comprender muchísimas cosas; estamos convencidos de ello y, en consecuencia, nos atrevemos a plantear cuestiones de índole netamente profesional. En la lección anterior fue el montaje de un equipo amplificador y, en buena lógica, no podíamos cerrar esta etapa de estudio dedicada a los fenómenos de la amplificación sin dar cabida en ella a la realización práctica del más popular de los aparatos que en ellos se fundan: la maleta tocadiscos; la compañera imprescindible de tantas ocasiones de bullicio juvenil y de tantas horas de sosiego proporcionadas por el placer de la música.

También en esta ocasión actuaremos profesionalmente:

Supondremos que usted, lector amigo, ha recibido de un amigo, familiar o cliente (cosa muy posible) el encargo de montar una maleta tocadiscos. Vamos a situarnos en un plano de máxima posibilidad, aceptando que su cliente desea una *calidad normal*, exigiendo notable sonoridad pero no un aparato de mucho precio.

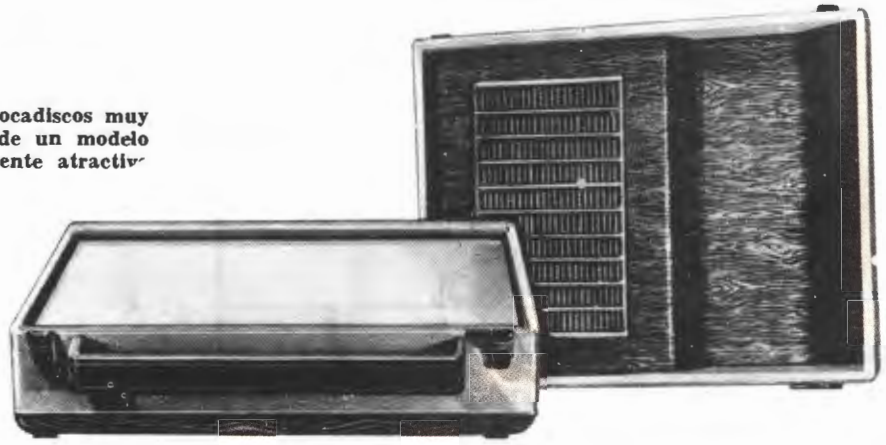
Usted nos pide consejo y nosotros vamos a orientarlo, proporcionándole los datos necesarios para que pueda construir esta maleta tocadiscos que podemos calificar de *normal*.

Ya sabemos que existen una infinidad de modelos de cajas y de platos giratorios, por lo cual la adopción de uno u otro modelo está en función de las posibilidades económicas del cliente. Tanto en lo que respecta a la caja como al plato, nuestro ejemplo se apoya en modelos comerciales de normal existencia en el mercado. Sólo nos ha preocupado su funcionalismo (dentro de una aceptable estética) por aquello de que *sobre gustos no hay nada escrito*.

LA MALETA

En el mercado se encuentran cajas de tipo comercial preparadas para que en ellas pueda incorporarse el plato giradiscos y el amplificador que se desee. Lo más corriente es que estas maletas tengan la tapa preparada de modo que sea posible ubicar en ella el correspondiente altavoz.

Vea un modelo de maleta ampliamente difundido y que tanto por su forma como por sus dimensiones resulta apropiado para cualquier plato y cualquier amplificador.

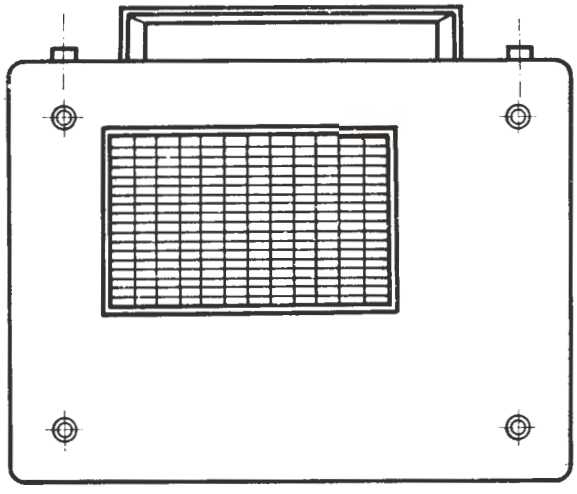


Este es un modelo de maleta para tocadiscos muy difundido en el mercado. Se trata de un modelo sin complicaciones, pero suficientemente atractiv como para resultar comercial.

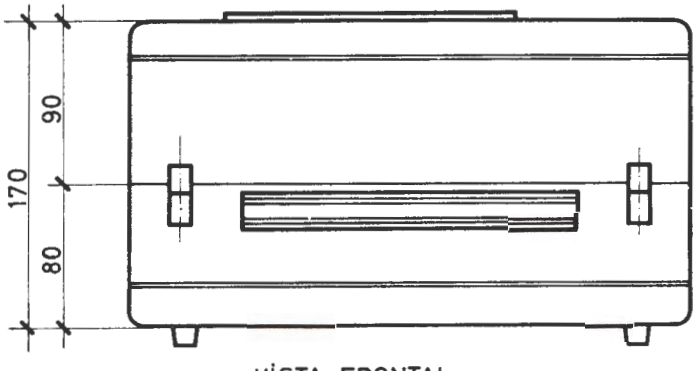
Estas maletas se expenden con un tablero interior destinado a sostener el plato tocadiscos y que, naturalmente, deberá recortarse según lo que *mande* el plato elegido.

Para que pueda tener una idea exacta de las características y dimensiones de la maleta que hemos escogido para este ejemplo, añadimos un plano acotado de la misma.

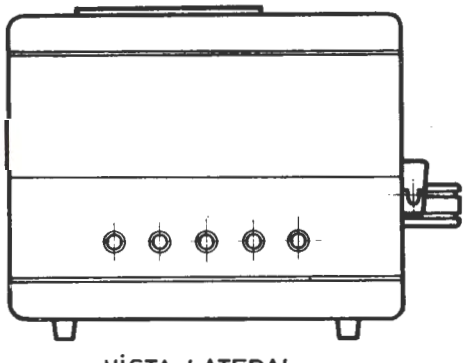
PLANO DE CONJUNTO DE LA MALETA TOCADISCOS ELEGIDA PARA NUESTRO MONTAJE



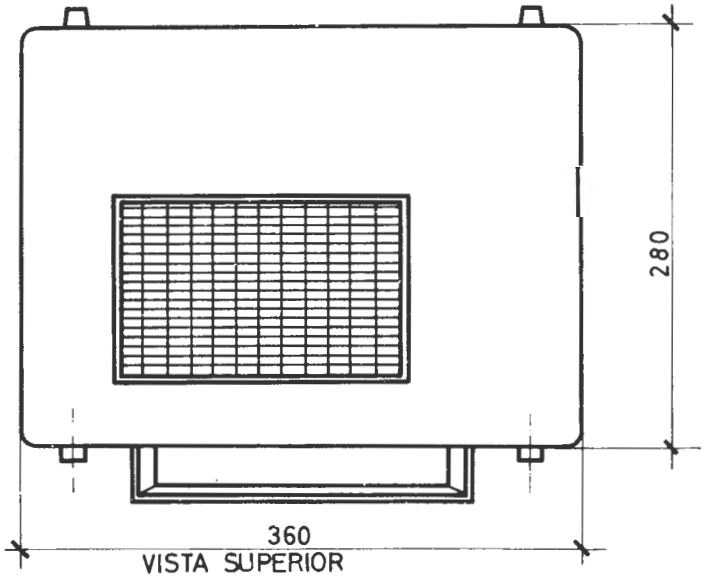
VISTA INFERIOR



VISTA FRONTAL

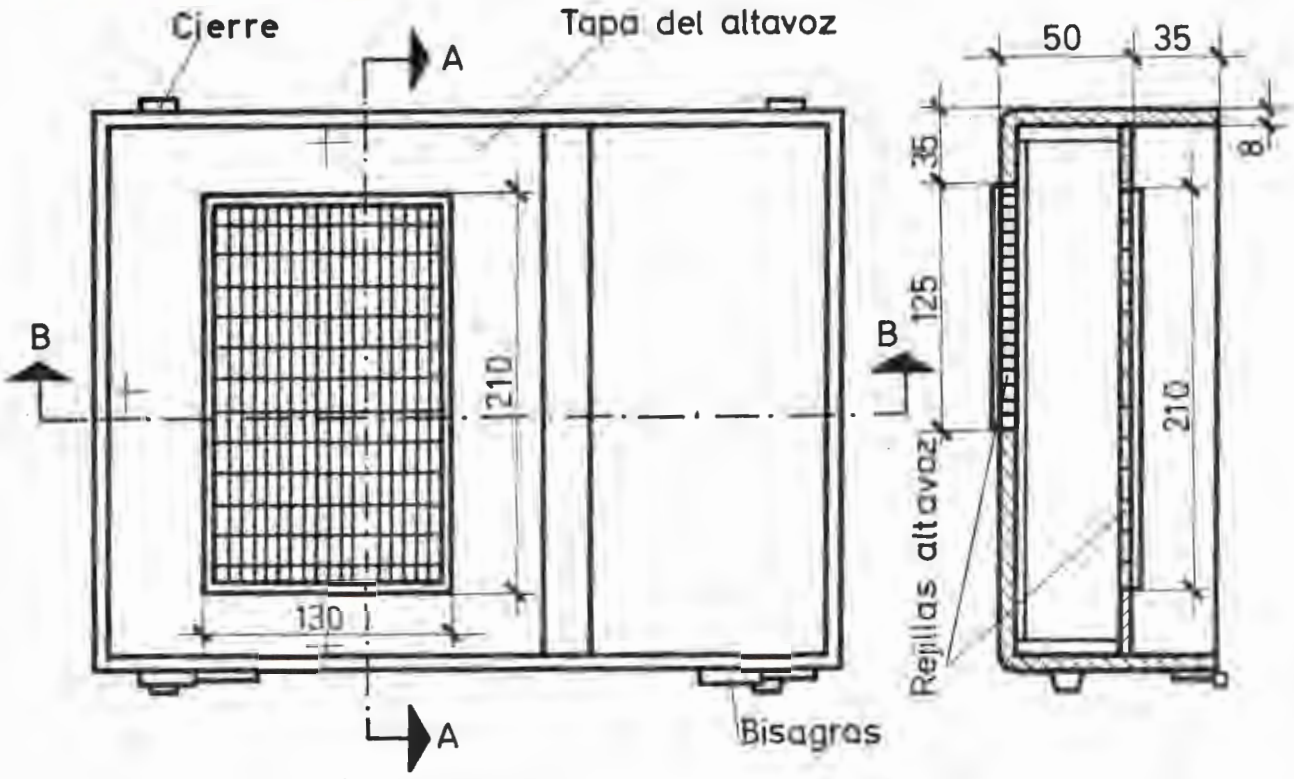


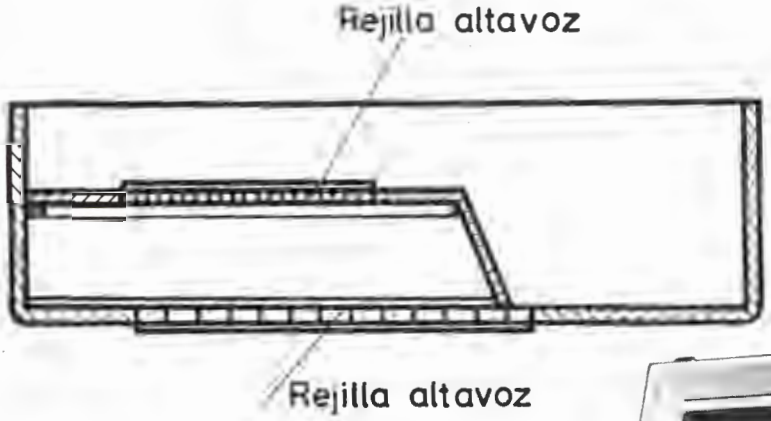
VISTA LATERAL

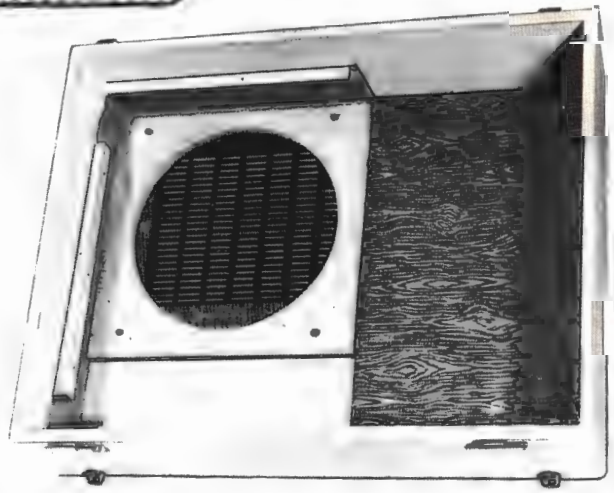


VISTA SUPERIOR

PLANOS PARCIALES. La tapa

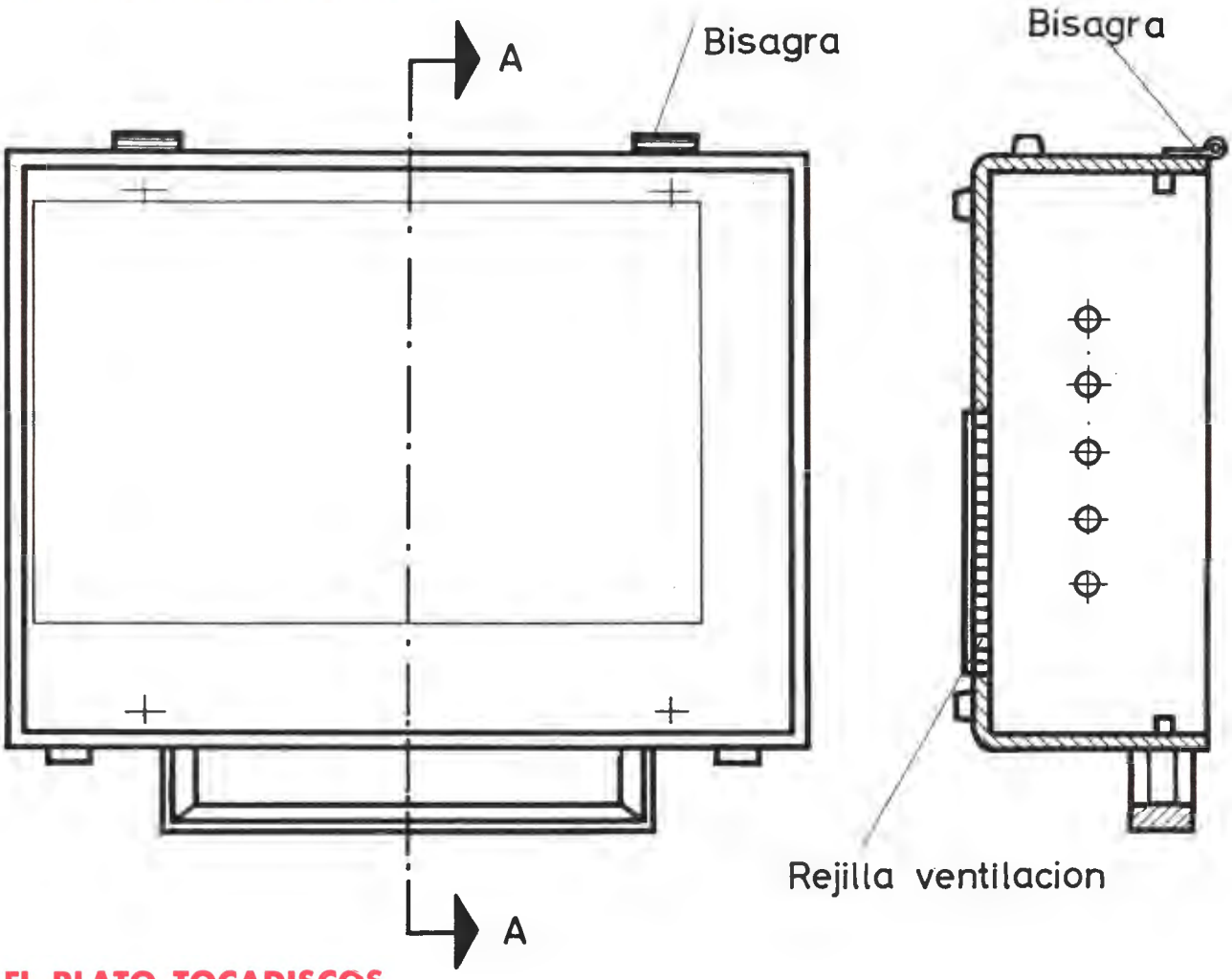






Fotografía de la tapa de la maleta sin la tapa del altavoz. Vea la pieza de madera con taladro circular para la sujeción de un altavoz de 6".

PLANOS PARCIALES. La caja



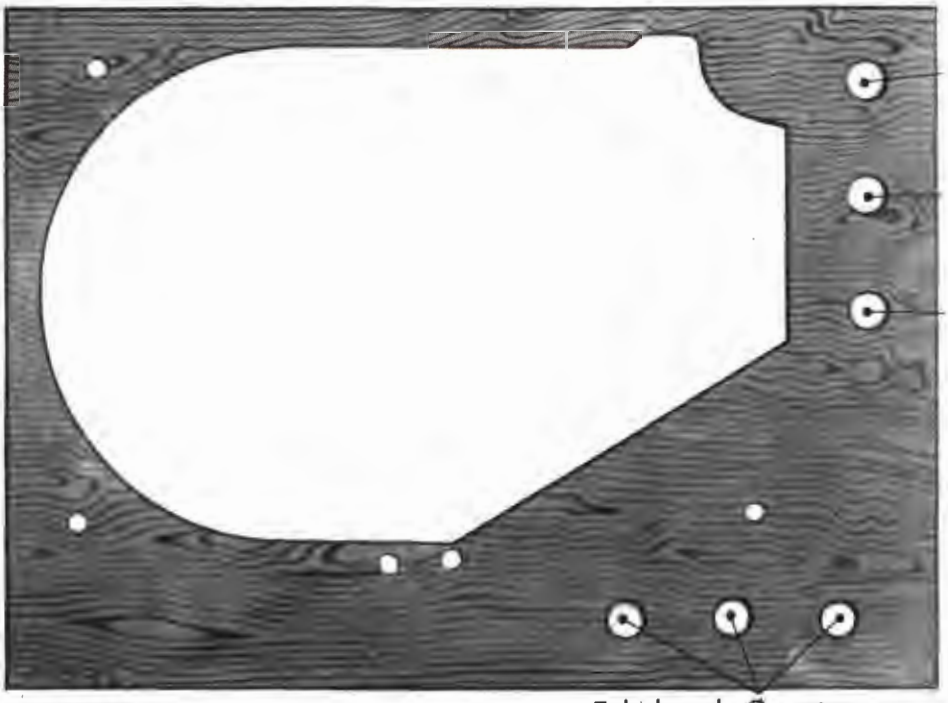
EL PLATO TOCADISCOS

Aquí es muy difícil dar un consejo. Existen tantos y tan variados modelos, desde los más sencillos a los de calidad superior, que sólo un conocimiento exacto de las pretensiones del cliente podrán inclinarnos hacia uno u otro de ellos.

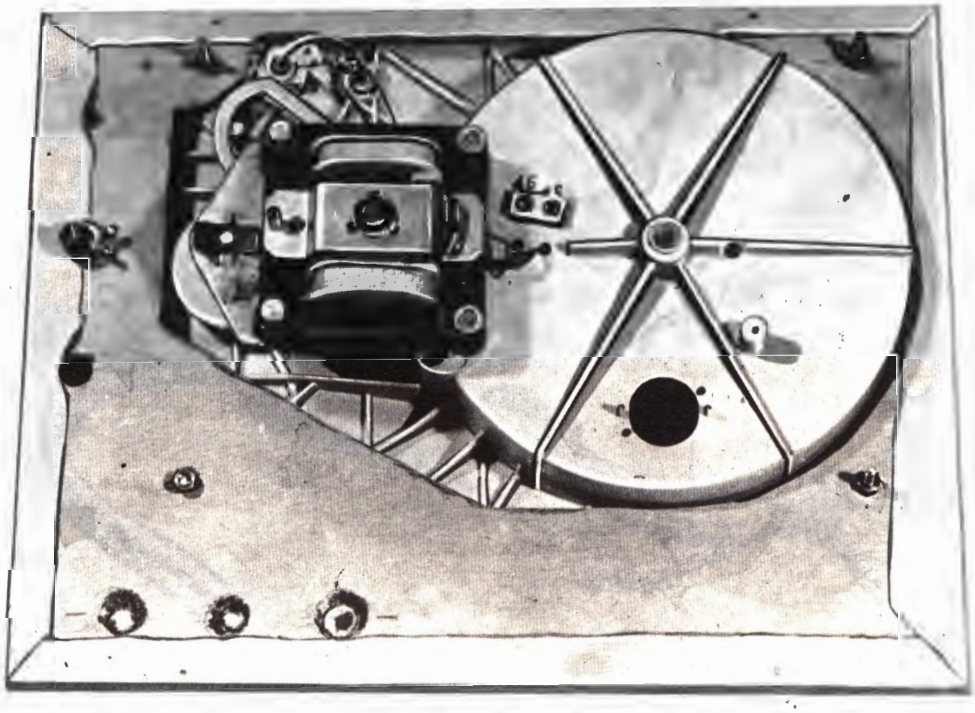
Nosotros, en nuestro intento de no apartarnos de una posición equilibrada, hemos escogido un plato de calidad media. Véalo fotografiado.

Este plato, naturalmente, requerirá que el soporte de madera esté agujereado convenientemente. Damos la fotografía de dicha base de madera una vez recortada para la colocación del plato. Repetimos, empero, que la forma de este taladro depende del modelo de plato que se decida, variando de unos a otros.

Para no repetir figuras inútilmente, la fotografía de la base de madera aparece ya con los taladros de los tres potenciómetros del amplificador cuyo estudio emprenderemos inmediatamente y con los taladros para el jack de salida, el cable para la toma de corriente y el ojo de buey para la luz piloto.



Taladros de Ø = 8 mm.



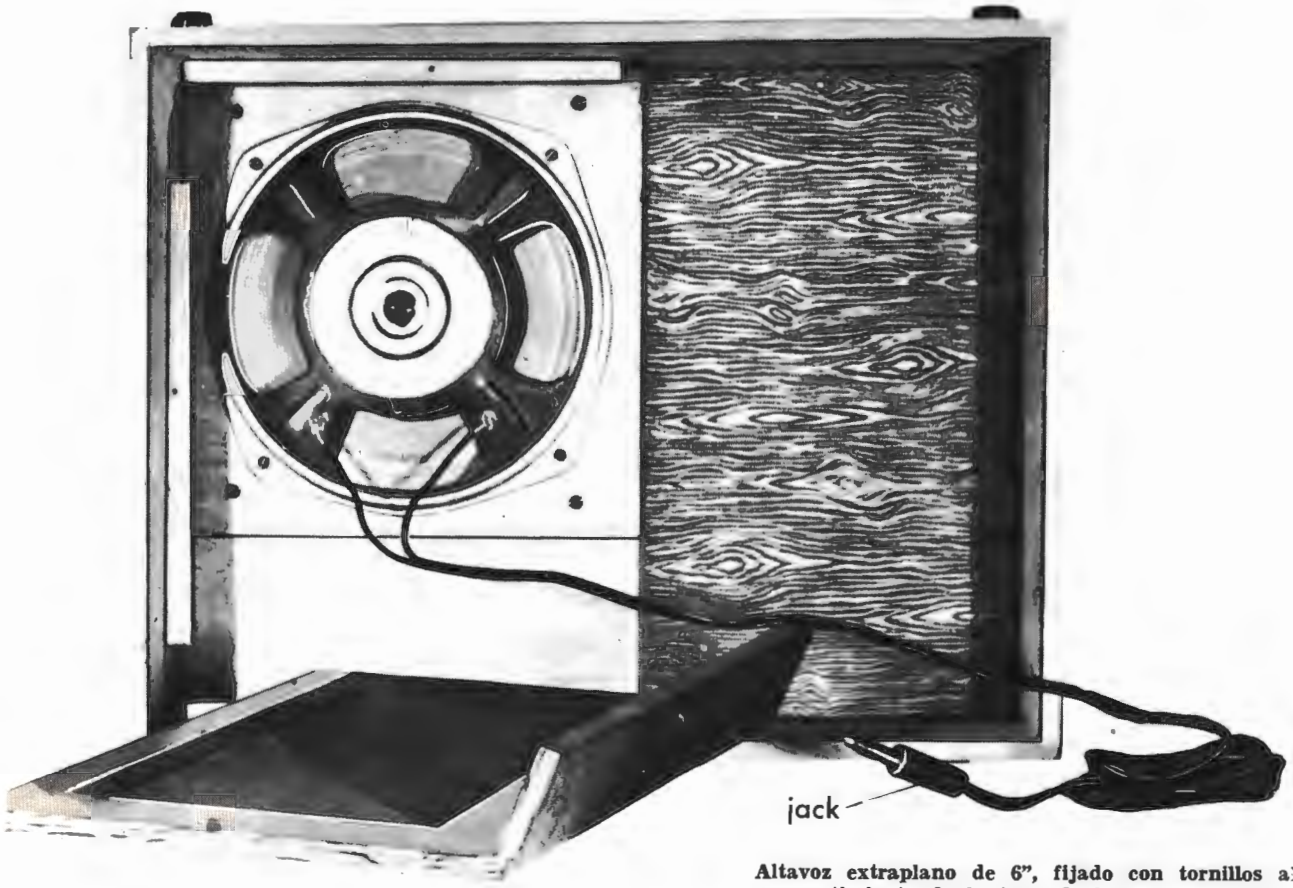
Fotografía de la cara inferior de la base de madera una vez se han sujetado a ella el plato, el jack, una pieza protectora para el cable de la toma de corriente y el ojo de buey de la luz piloto.

COLOCACION DEL ALTAVOZ

El compartimiento de la tapa de la maleta destinado a contener el altavoz, tiene las medidas necesarias para un altavoz circular de 6" (seis pulgadas) del tipo extraplano. Este altavoz se sujetará a la madera mediante tornillos.

Observe que se trata únicamente del altavoz; no hay el transformador de salida que, según veremos, quedará incorporado al chasis del circuito amplificador.

De los dos contactos de la bobina del altavoz se derivará un cable bipolar de unos dos metros de largo en cuyo extremo libre se colocará el macho de un jack, de acuerdo con lo que indicamos gráficamente.



Altavoz extraplano de 6", fijado con tornillos al compartimiento de la tapa de la maleta preparada para este menester.

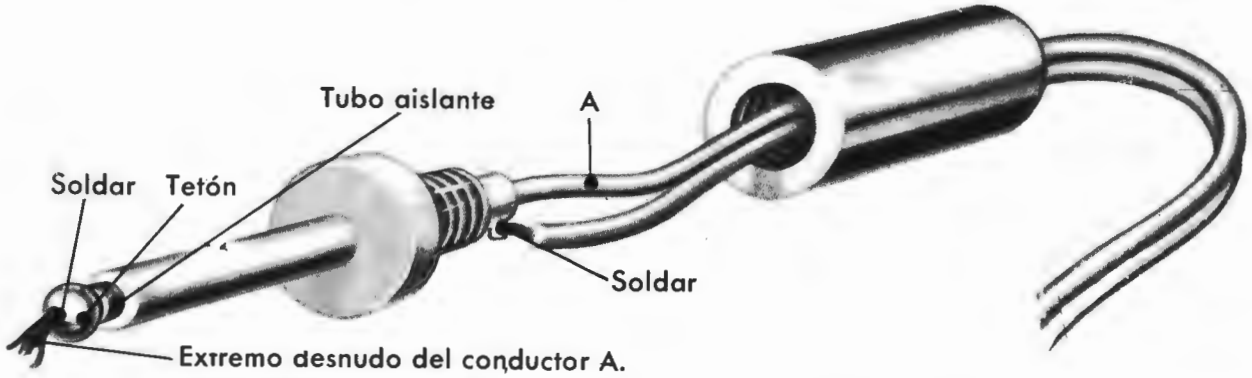


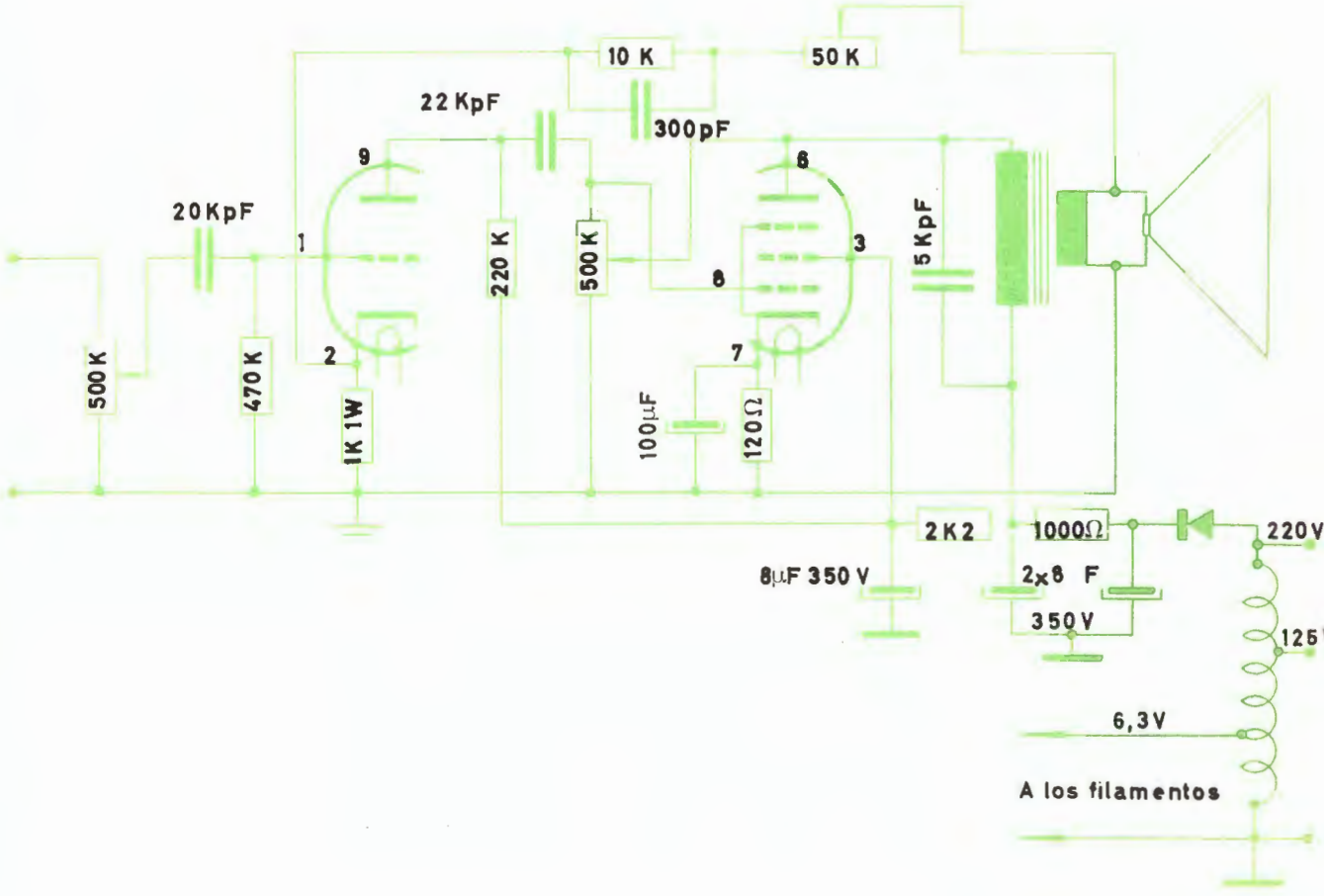
Gráfico donde se demuestra la forma de conectar una clavija tipo jack.

Hemos llegado al punto clave: estudiar el amplificador idóneo para este tocadiscos. Es evidente que podría ser el mismo que hemos montado experimentalmente primero (lección 22) y en un chasis comercial después (lección 23). Técnicamente no hay ningún inconveniente.

Pero, en la práctica, nos encontraríamos con dos contraindicaciones principales: por un lado el calor disipado por las tres válvulas (la rectificadora EZ81, el doble triodo ECC82 y el pentodo EL84) que al quedar encerradas en una caja de madera (con aberturas de ventilación, desde luego) podría representar un peligro para la integridad del conjunto. Por otro lado, está el inconveniente del peso (agravado por el transformador de salida de alta fidelidad) y el inconveniente del precio, excesivo para un amplificador destinado a una maleta tocadiscos de calidad media.

Por lo tanto, se hace imprescindible buscar una solución que, manteniendo para el amplificador unas posibilidades sonoras similares al que hemos estudiado y montado, ofrezca la ventaja de un peso menor y de una mayor economía. ¿Cómo conseguir ambas cosas?

Vea el esquema del amplificador.



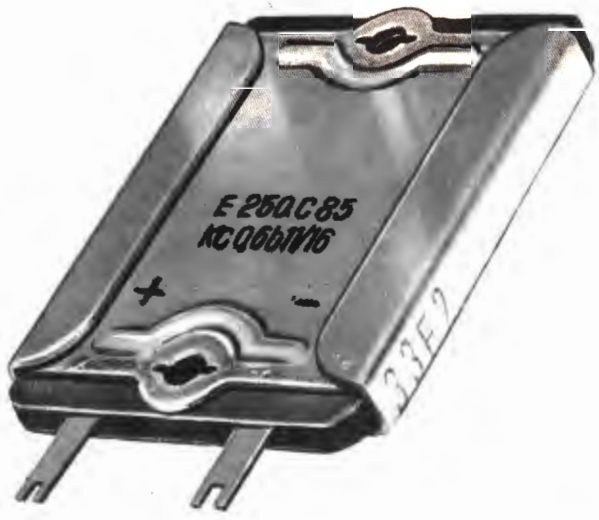
Esquema de amplificador de B.F. apropiado para ser incorporado a una maleta tocadiscos. Utiliza una válvula triodo-pentodo ECL86.

Este esquema, en líneas generales, representa el mismo circuito amplificador que nos es conocido. Las diferencias esenciales están, precisamente, en función de la aplicación específica que deseamos y que, como hemos dicho, nos fuerza a buscar menor peso y menor disipación de calor.

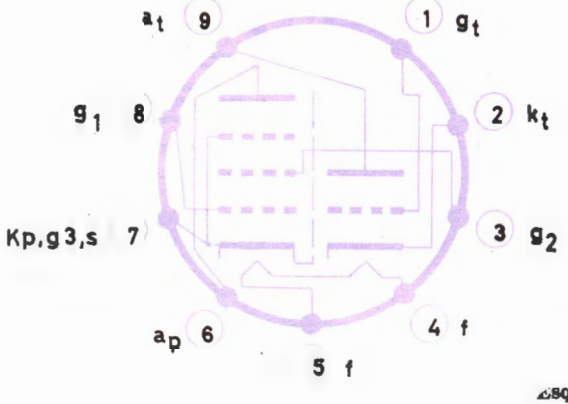
Advierta dos detalles importantes: la fuente de alimentación no lleva la válvula rectificadora; se ha sustituido por un rectificador de selenio, cuya fotografía acompaña estas palabras.

El segundo detalle a destacar es que las dos etapas amplificadoras (triodo y pentodo) están ubicadas en una misma válvula. Es decir: en vez de emplear dos válvulas, se ha optado por una válvula múltiple que dentro de una sola ampolla de cristal incluye un triodo y un pentodo.

La válvula utilizada es la ECL86.

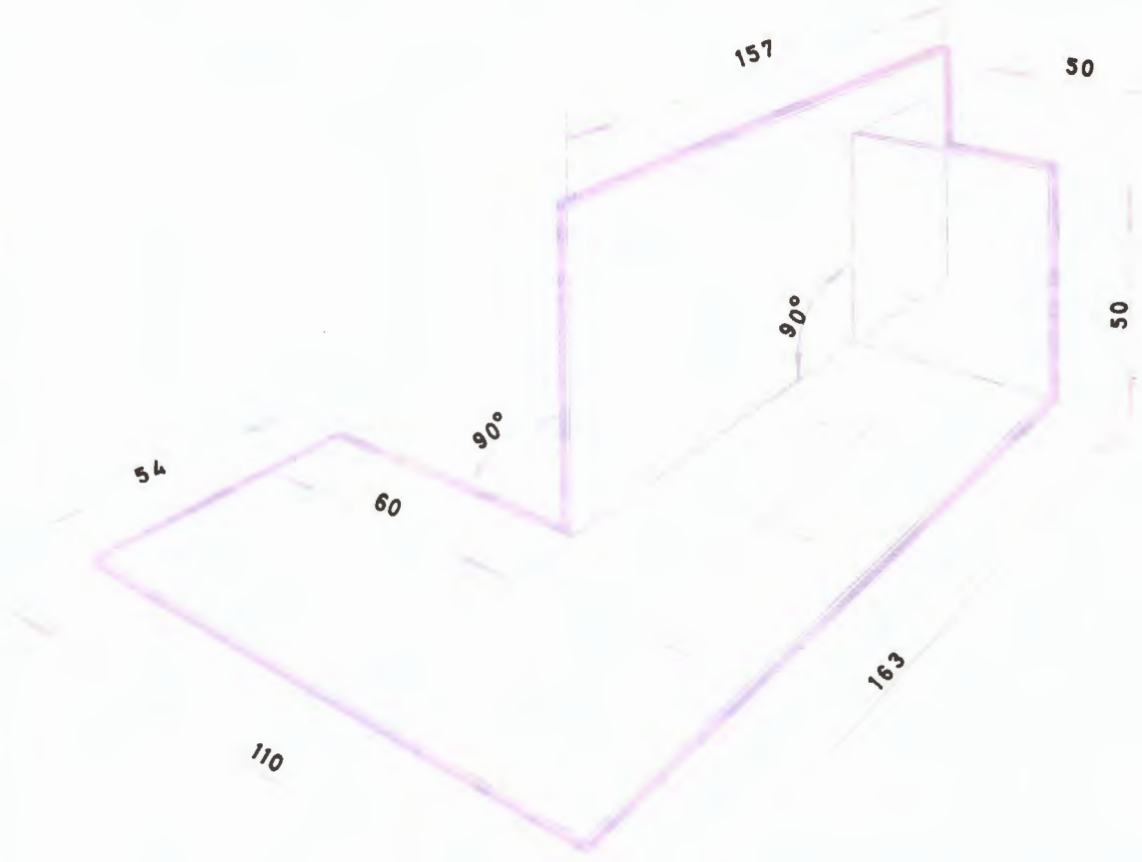


Rectificador de selenio utilizado en este montaje en sustitución de la EZ81.

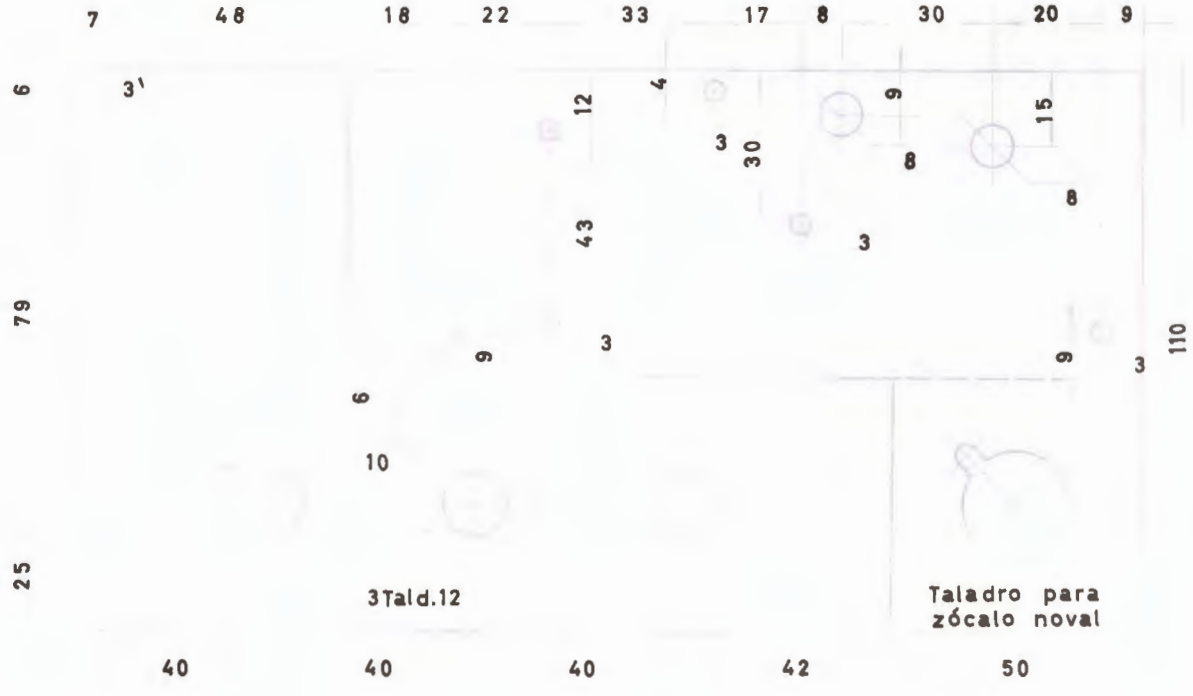


Esquema y fotografía de la ECL86. Las patillas corresponden a los siguientes electrodos: 1. Rejilla del triodo. — 2. Cátodo del triodo. — 3. Rejilla pantalla. — 4. Filamento. — 5. Filamento. — 6. Placa del pentodo. — 7. Cátodo del pentodo, rejilla supresora y blindaje de separación entre pentodo y triodo. — 8. Rejilla control del pentodo. — 9. Placa del triodo.

También el chasis debe ajustarse a las necesidades derivadas del hecho de tener que incorporar el amplificador en el interior de una maleta que, además, encerrará todo el mecanismo que acciona el plato giradiscos (motor, cambio de velocidades, freno, etc.). Después de meditarlo, se ha decidido que el chasis, cortado en chapa de hierro estañado de 0'7 mm, tenga la forma y cotas que expresa el gráfico de la página siguiente que a ello se refiere.



Dimensiones totales y forma a dar al chasis que conviene a nuestro montaje. Cotas en milímetros.

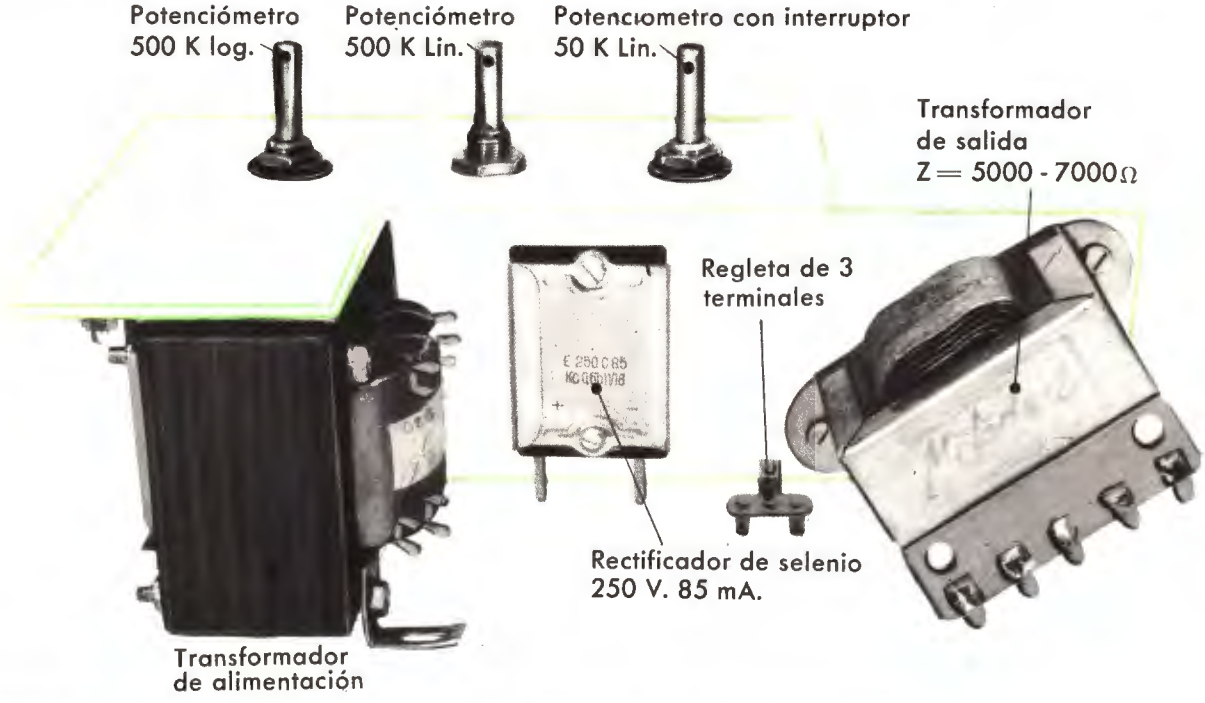


Plantilla del chasis dibujada a mitad de tamaño.

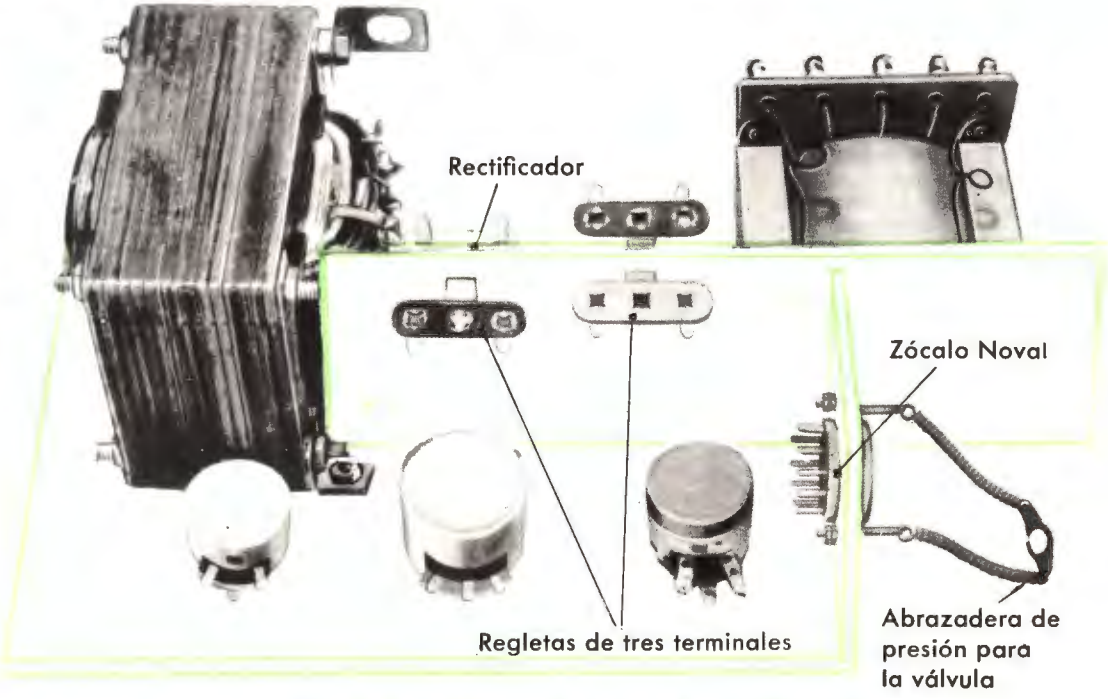
EL MONTAJE

Dándose el caso de que este esquema, cuyo montaje nos proponemos, es de sobras conocido, no vamos a entrar en detalles sobre la forma de alambrarlo. Usted debe ser capaz de pasar del esquema teórico al montaje y, seguros de que es así, limitaremos nuestra explicación a darle algunos gráficos donde pueda consultar en caso de duda.

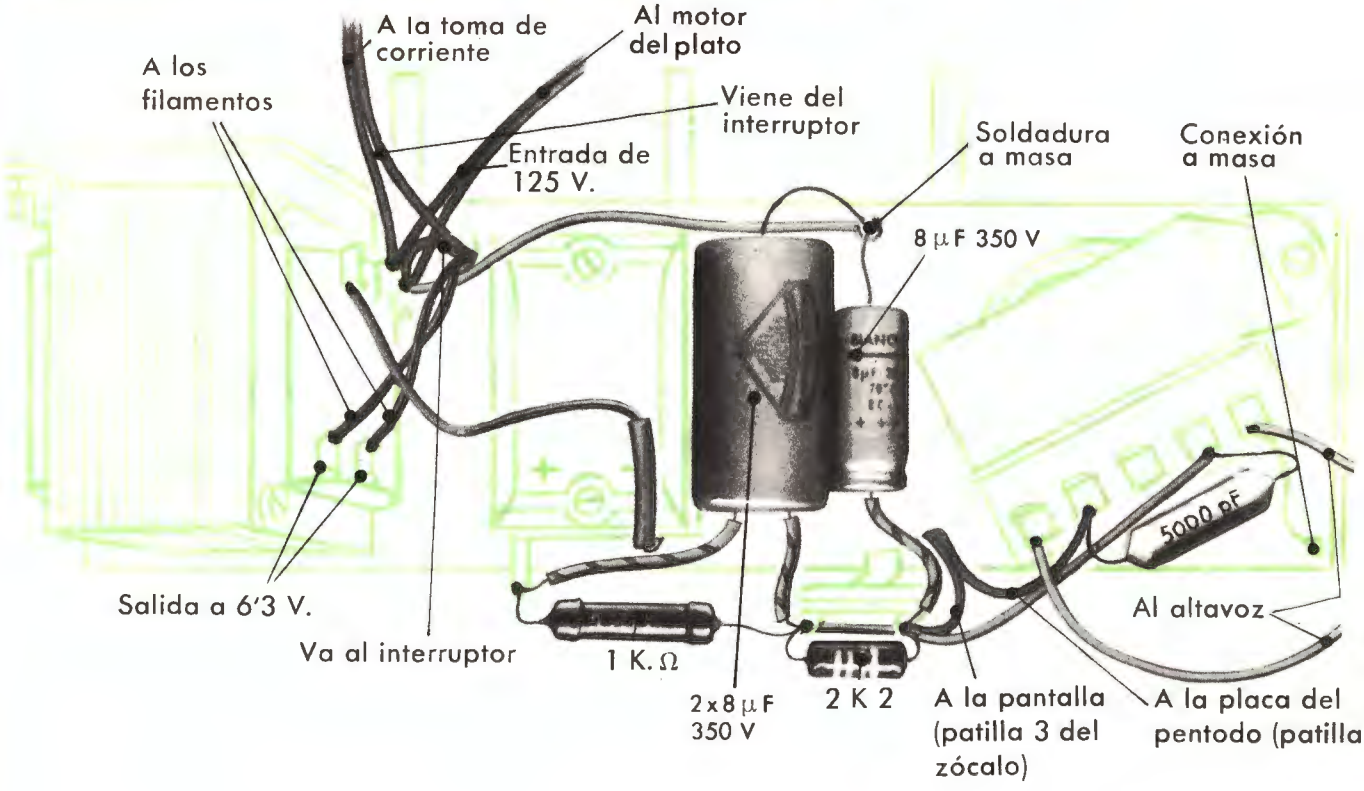
Empecemos por ver el emplazamiento de los elementos directamente sujetos al chasis.

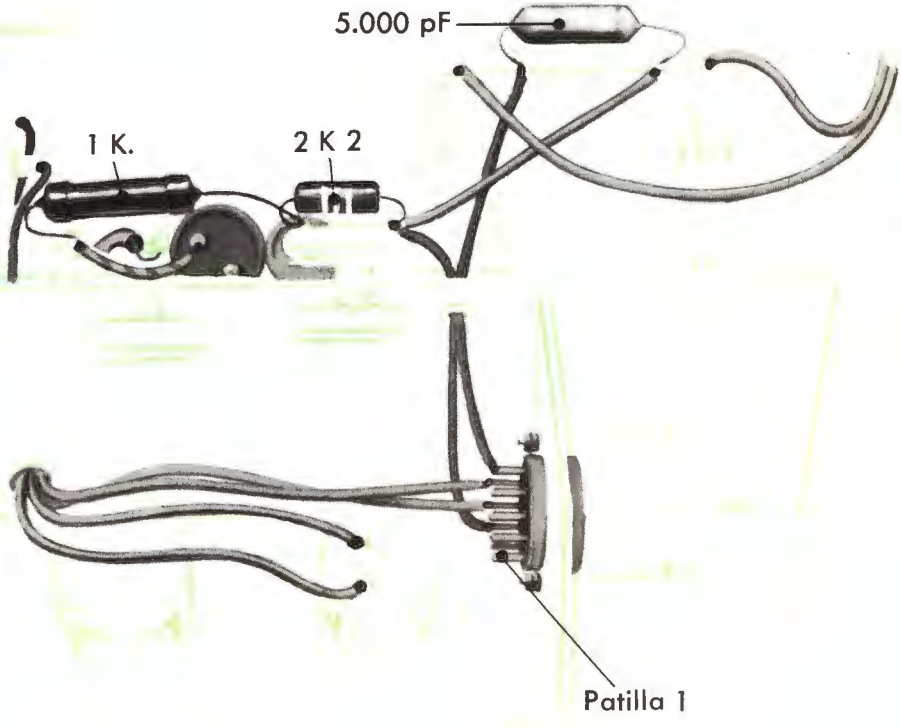


Situación de los componentes de sujeción mecánica, vistos por la que podemos considerar cara exterior del chasis.



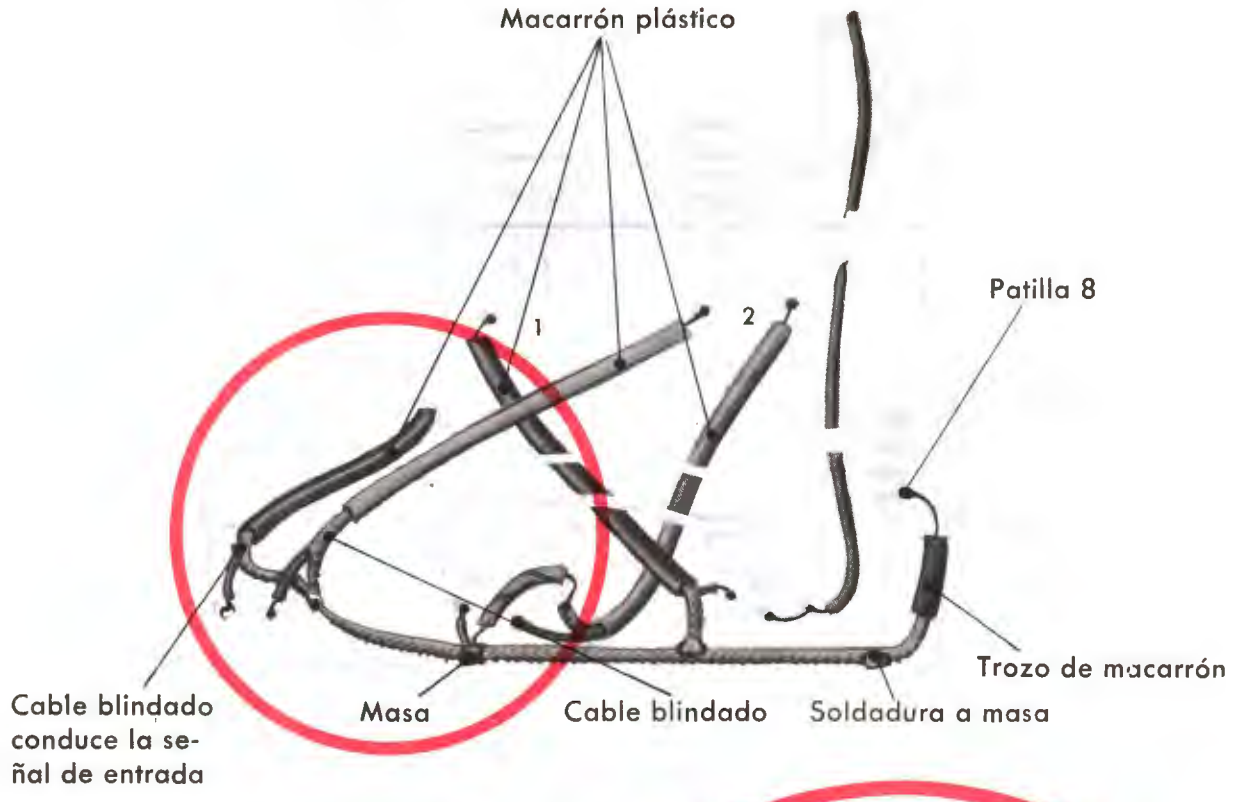
Vista de las piezas directamente unidas al chasis, tomada por la cara interior del mismo.

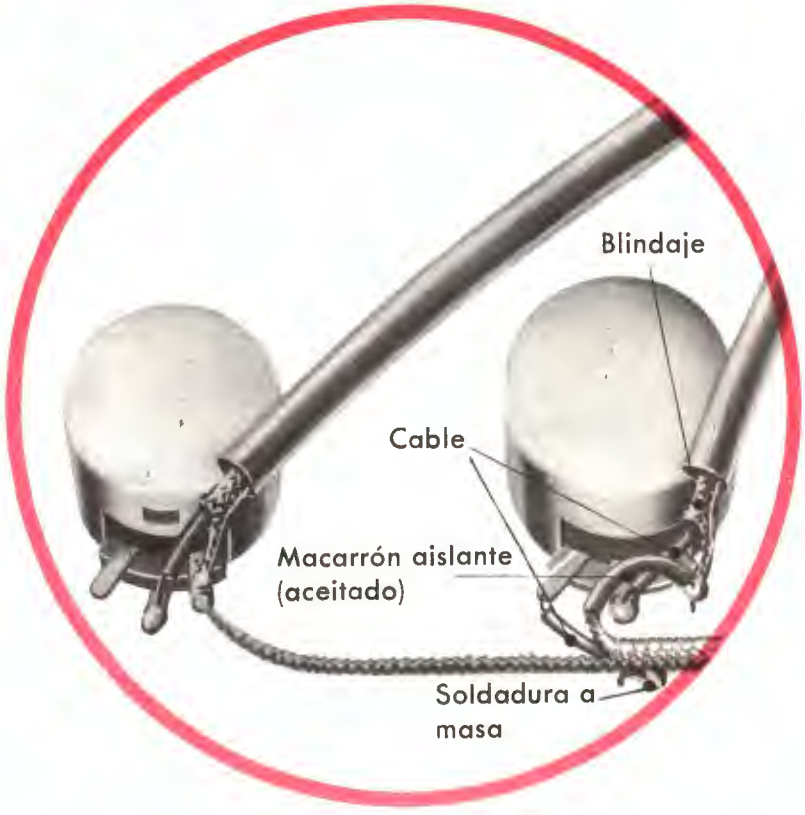




Vistas exterior e interior del montaje, con las conexiones que se refieren a la alimentación, rectificación y filamentos.

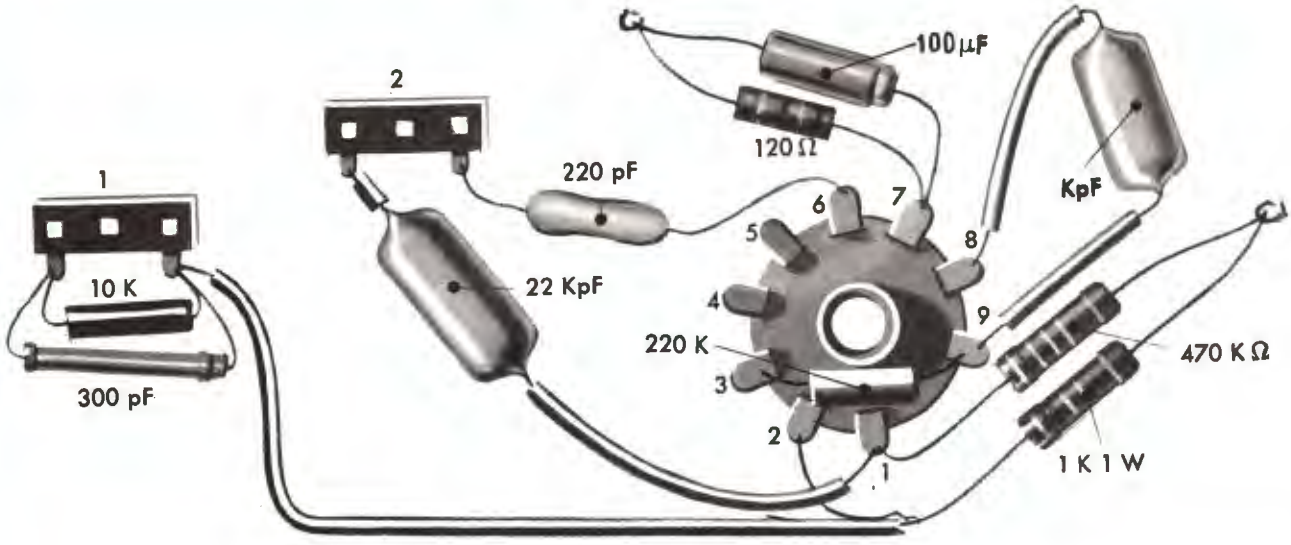
CONEXIONADO DE LOS POTENCIOMETROS



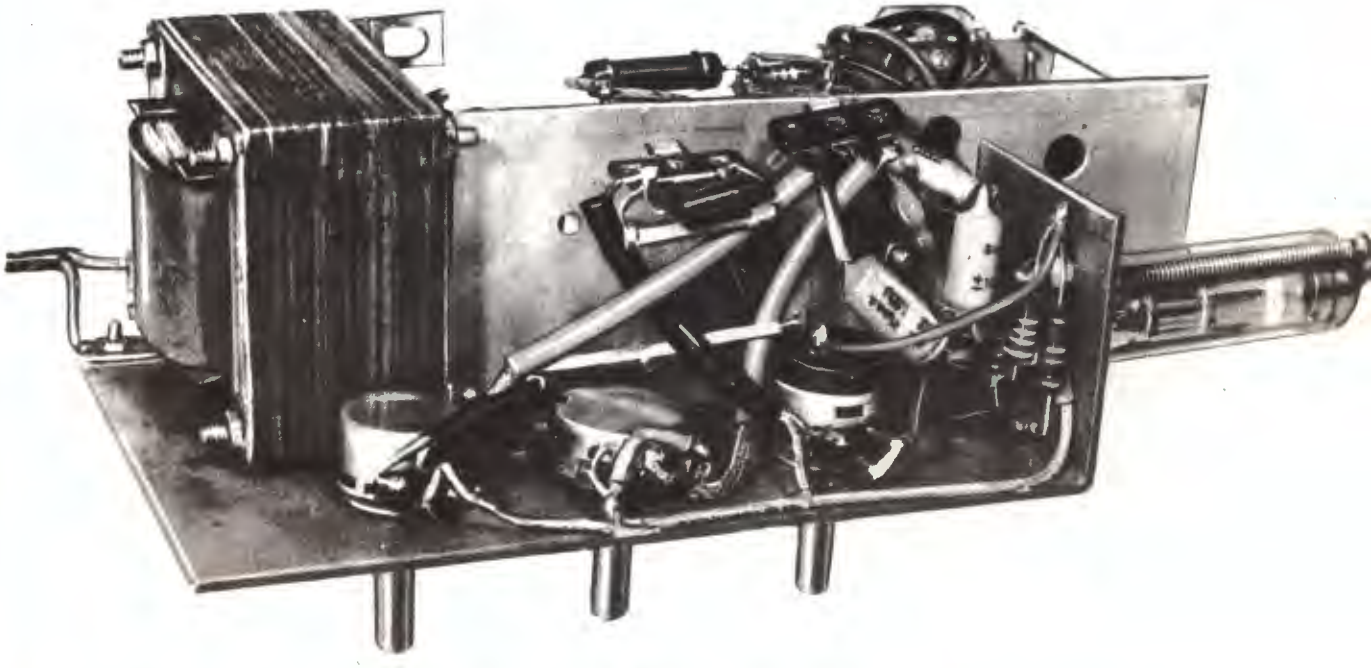


Estas són las conexiones que relacionan los potenciómetros con el resto del circuito. Ampliamos la parte delimitada por la curva trazada en color a fin de demostrar con más detalle el conexionado de los cables blindados.

COMPONENTES DIRECTAMENTE RELACIONADOS CON EL ZOCALO



En forma de esquema práctico, indicamos las conexiones y valores de los componentes que se relacionan más directamente con el zócalo de la válvula. Vea a continuación una fotografía del montaje, con la válvula incorporada, tomada desde la parte posterior del chasis. Observará que los componentes soldados al zócalo quedan algo amontonados. Algunas veces, en trabajos profesionales, son inevitables estas zonas que podríamos calificar de densas. Se comprende, pues, que hayamos optado por el esquema práctico al tratar de expresar gráficamente esta parte del montaje.

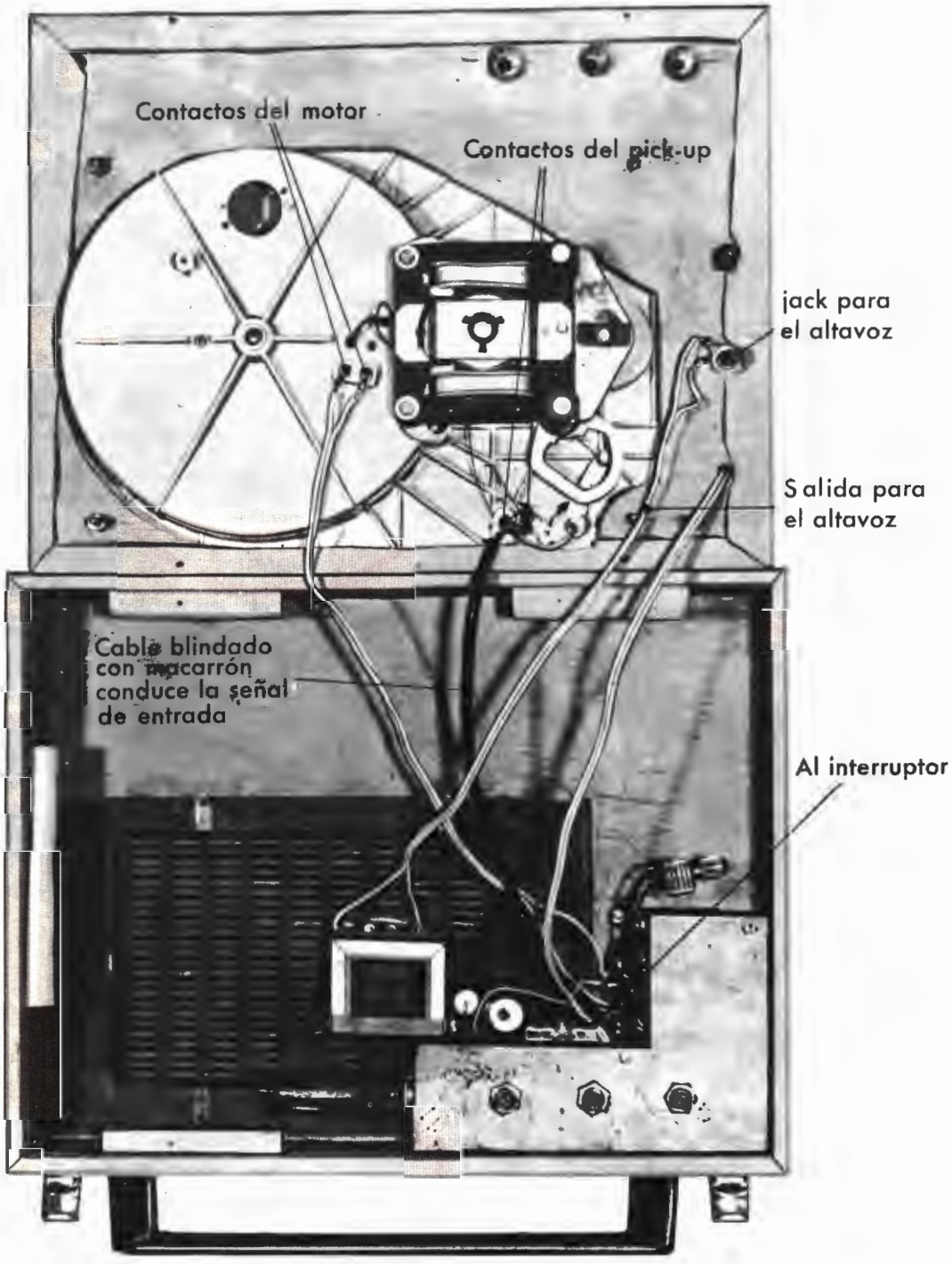


CONEXIONES ENTRE EL AMPLIFICADOR, EL PLATO Y EL ALTAVOZ

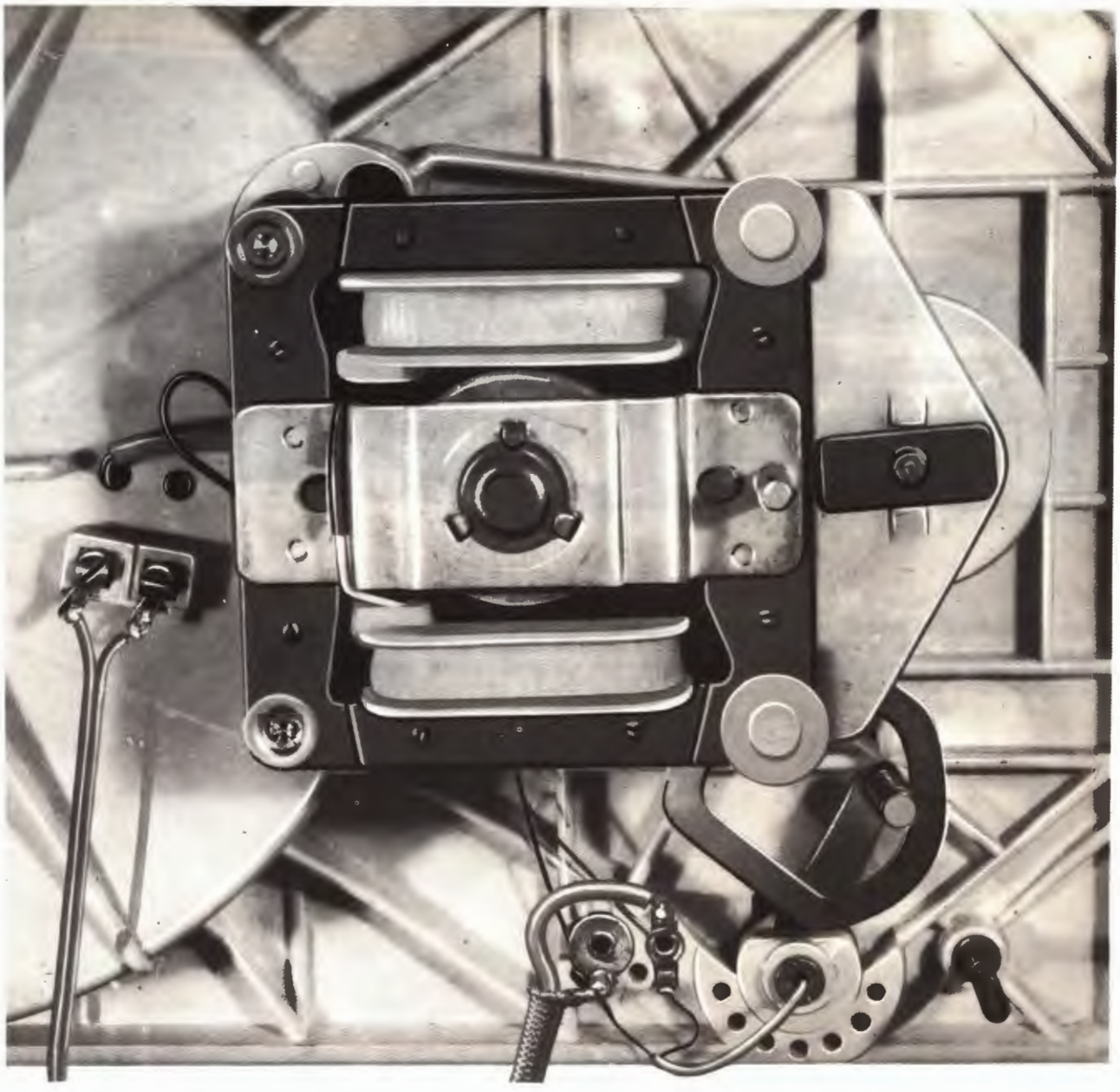
Hemos montado el amplificador y tenemos la maleta preparada para recibirlo en su interior. Falta tan sólo proceder a un conexionado que lleve corriente al motor y al amplificador y que relacione el brazo del fonocaptor con el amplificador y éste con el altavoz.

Vea la fotografía que ilustra el modo de efectuar dichas conexiones, una vez se ha fijado el amplificador sobre el fondo de la caja, cosa que se consigue fácilmente utilizando una escuadra atornillada al transformador y al fondo de la caja.

En cuanto a las conexiones entre los elementos del plato (motor y pick-up) basta con observar la fotografía a que hacemos referencia para obtener una clara idea de la forma de proceder. Repetimos que no todos los los platos tocadiscos son iguales; variará de unos a otros la situación de los contactos, que, por otra parte, siempre son fácilmente reconocibles, tanto los del motor como los del pick-up.



Fotografía donde se muestra el conexionado interior entre el plato tocadiscos y el amplificador.



Hemos ampliado considerablemente la zona posterior del plato tocadiscos donde radican los contactos que lo relacionan con el amplificador. Deseamos que tenga una visión inequívoca de los mismos.

FINAL

Deseamos sinceramente que el estudio de los fenómenos de la amplificación no sólo representen para usted ir subiendo peldaño tras peldaño en esta escalera del progreso, sino que representen también la posibilidad de introducirse en el mundo de la actividad profesional.

Aspecto que ofrece la maleta tocadiscos cuyo montaje le hemos propuesto, no ya en plan de práctica de estudio, sino como demostración palpable de que en estas lecciones hemos alcanzado un cierto nivel profesional que nos capacita para realizar montajes de un innegable cariz comercial.

AFHA